

**AUT0286 – Conforto Ambiental 3: TermoAcústica**

Departamento de Tecnologia  
Faculdade de Arquitetura e Urbanismo  
Universidade de São Paulo



# **Transmissão Sonora e Acústica de Edificações**

# Princípios básicos – Acústica Arquitetônica

- Condicionamento acústico de ambientes fechados:
  - absorção sonora;
  - qualidade acústica
- Isolamento sonoro entre ambientes:
  - reduzir a propagação de sons indesejados e os efeitos negativos do ruído, em edificações e em projetos urbanísticos.
  - entre espaços
  - exterior - interior
  - interior - interior



Fonte: Veja São Paulo, Ed. Abril. 14/05/2008

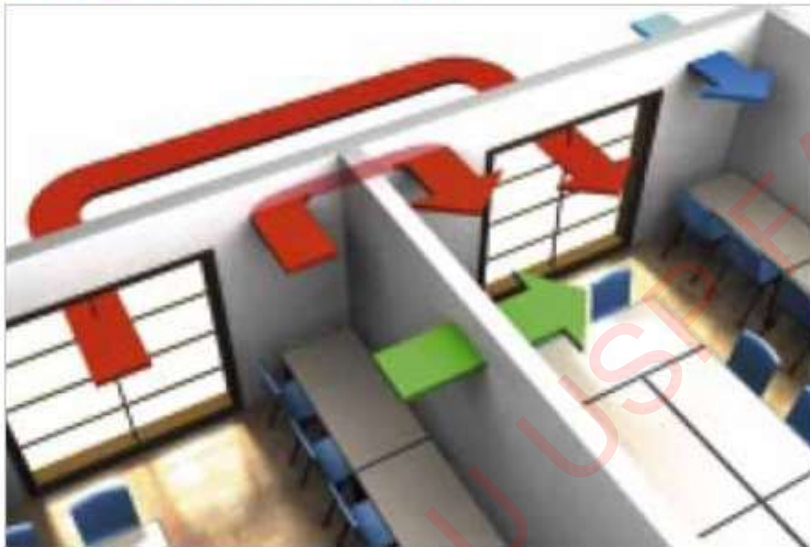
AUT0286 – Conforto Ambiental 3: TermoAcústica

# Princípios básicos – Acústica Arquitetônica

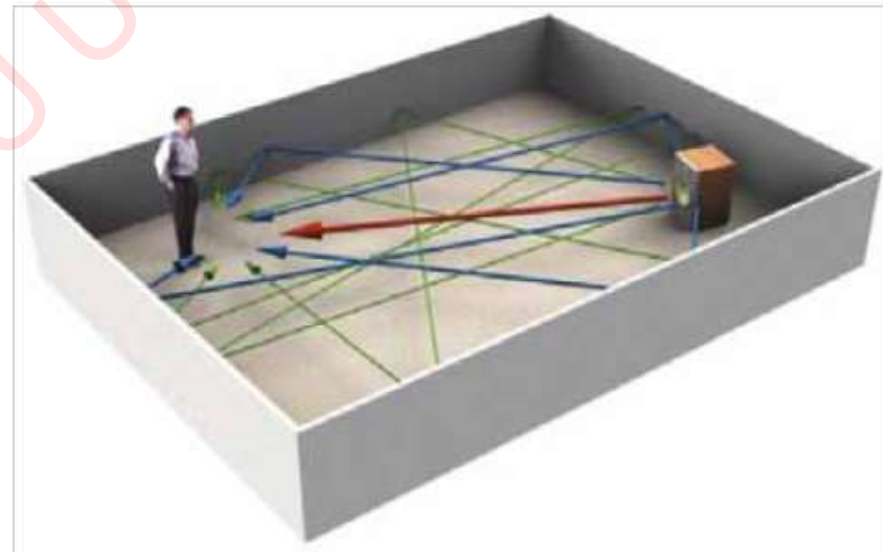


- Redução do som entre ambientes:
  - isolamento acústico proporcionado por sistemas construtivos
  - absorção sonora das superfícies internas.

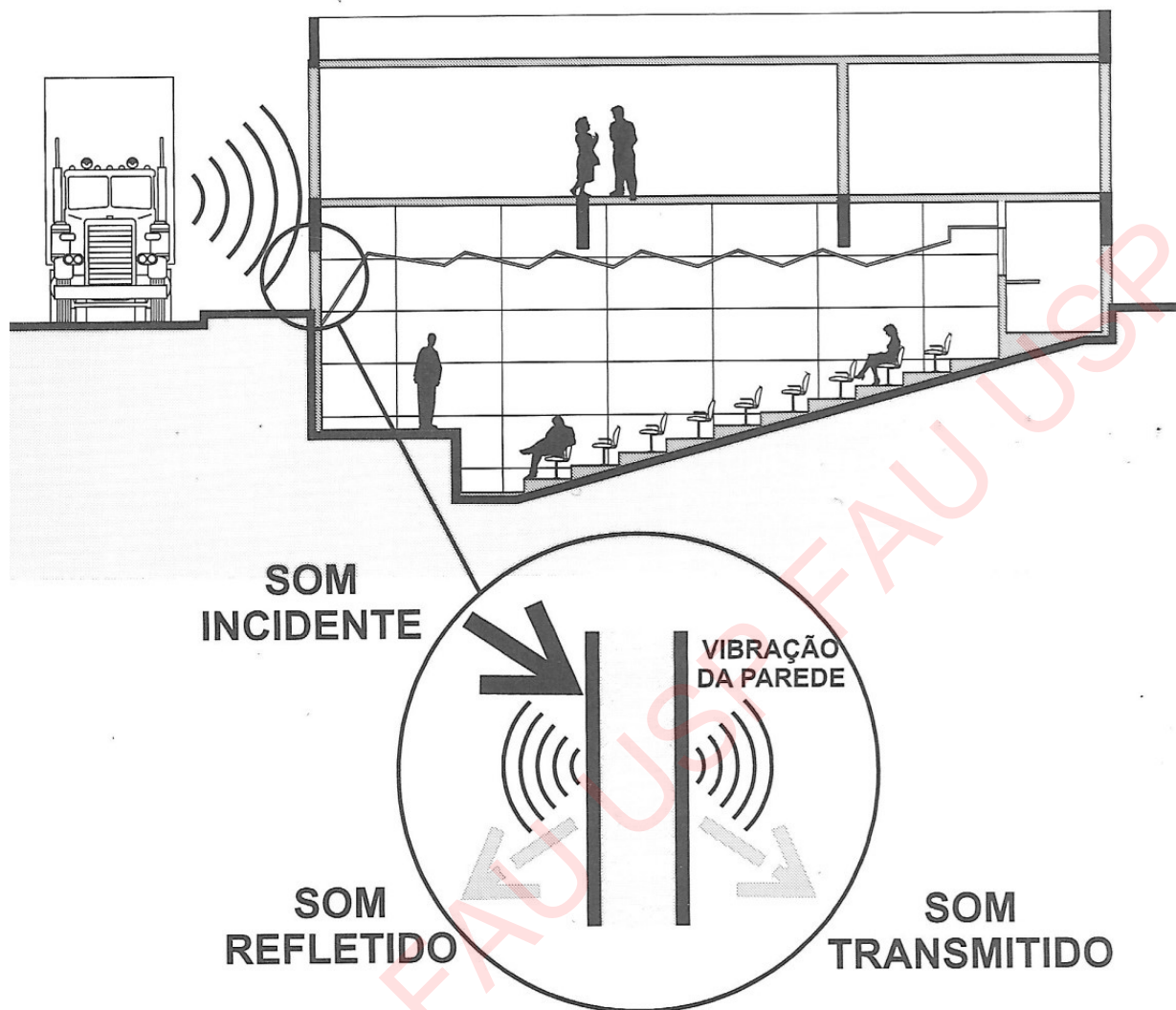
## Isolamento acústico



## Reverberação e absorção sonora



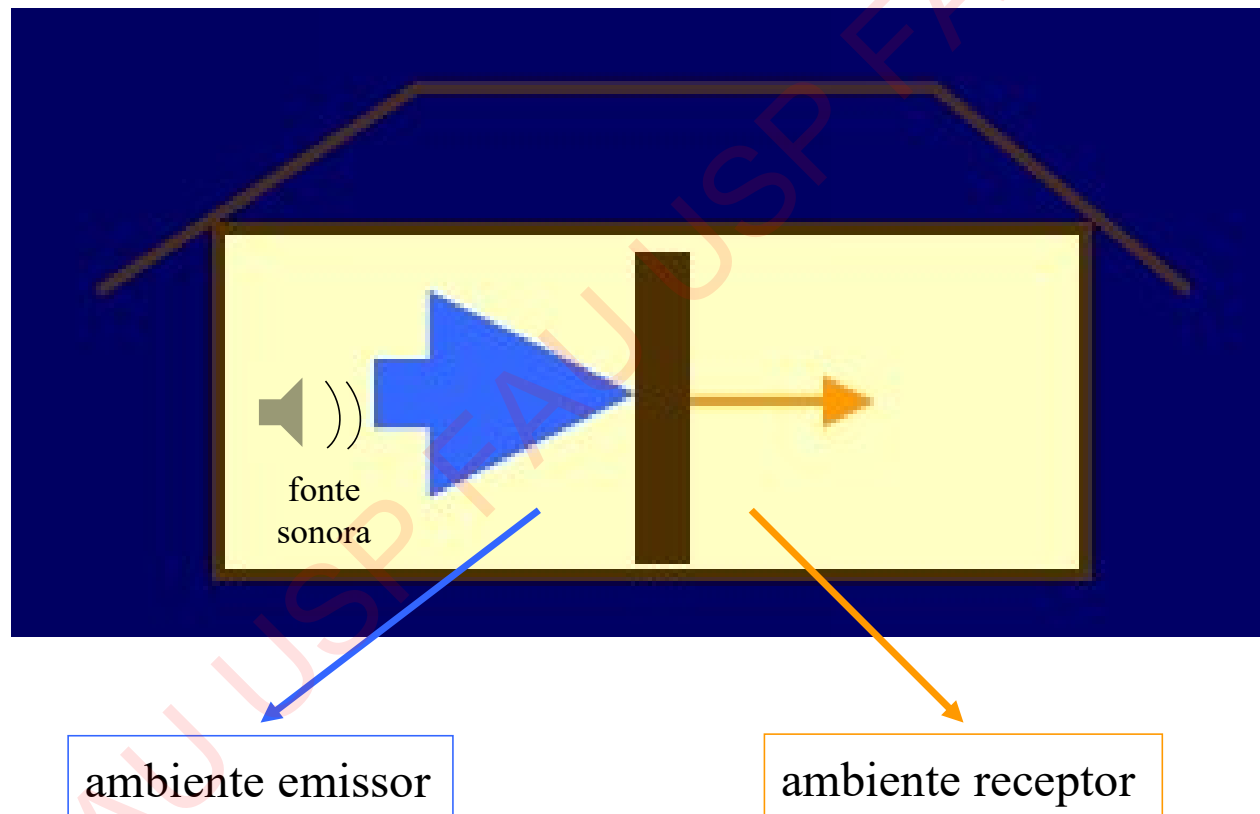
# Transmissão Sonora



- Quanto maior a massa da superfície, ?  
menor a probabilidade de vibração e  
menor a transmissão sonora.

# Transmissão Sonora

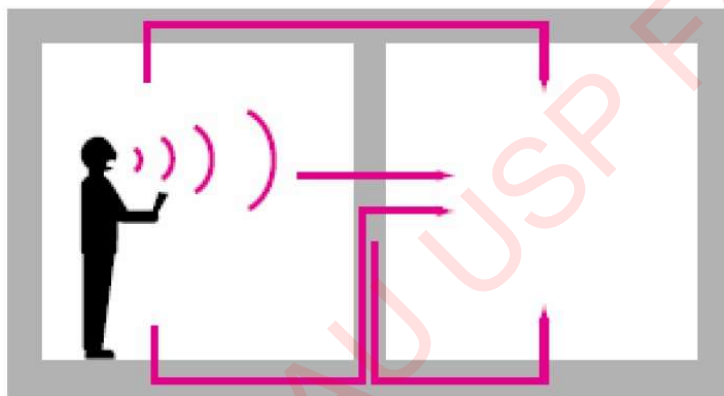
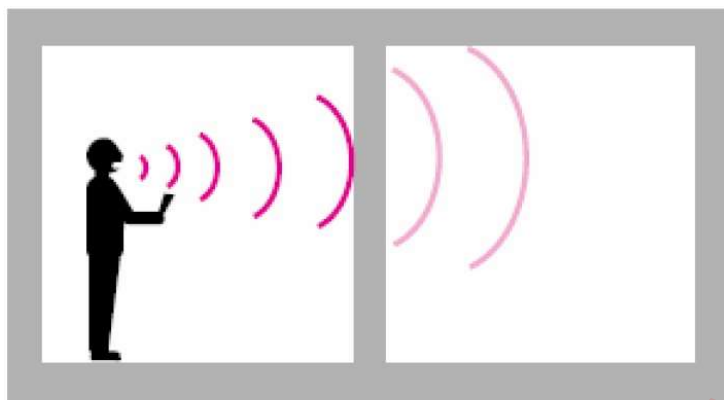
- Ocorre quando parte da onda sonora se propaga através de uma barreira, parede ou partição.



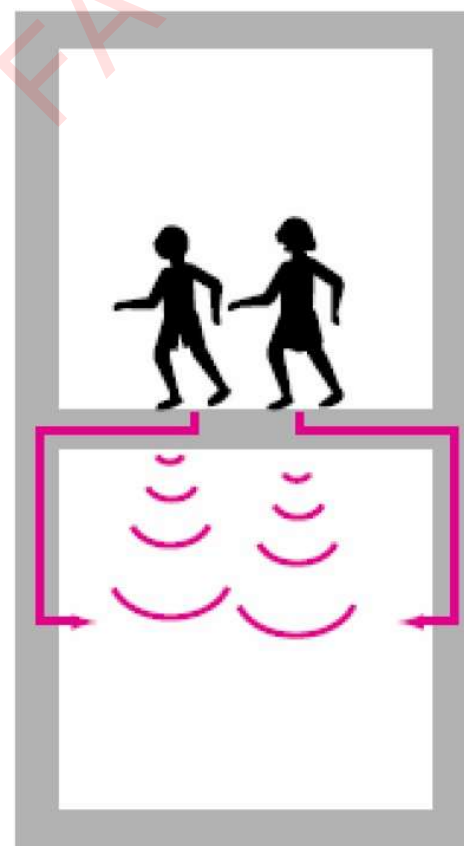
# Transmissão Sonora

- Em uma edificação:

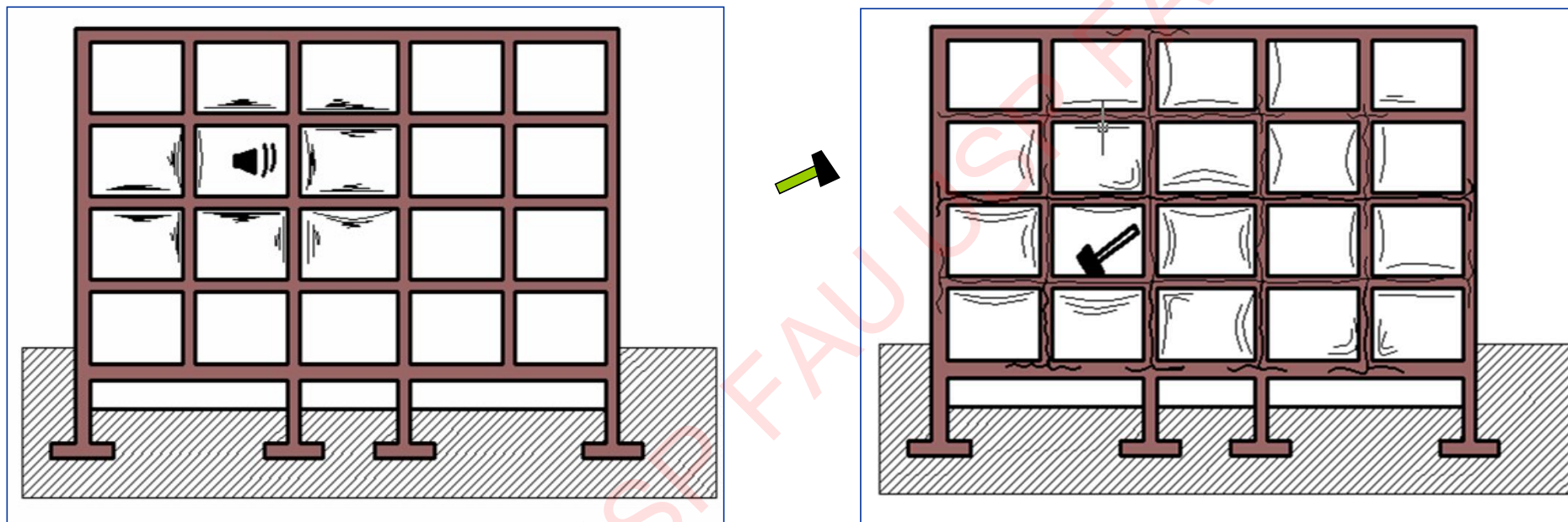
- Via aérea



- Via estrutural / materiais



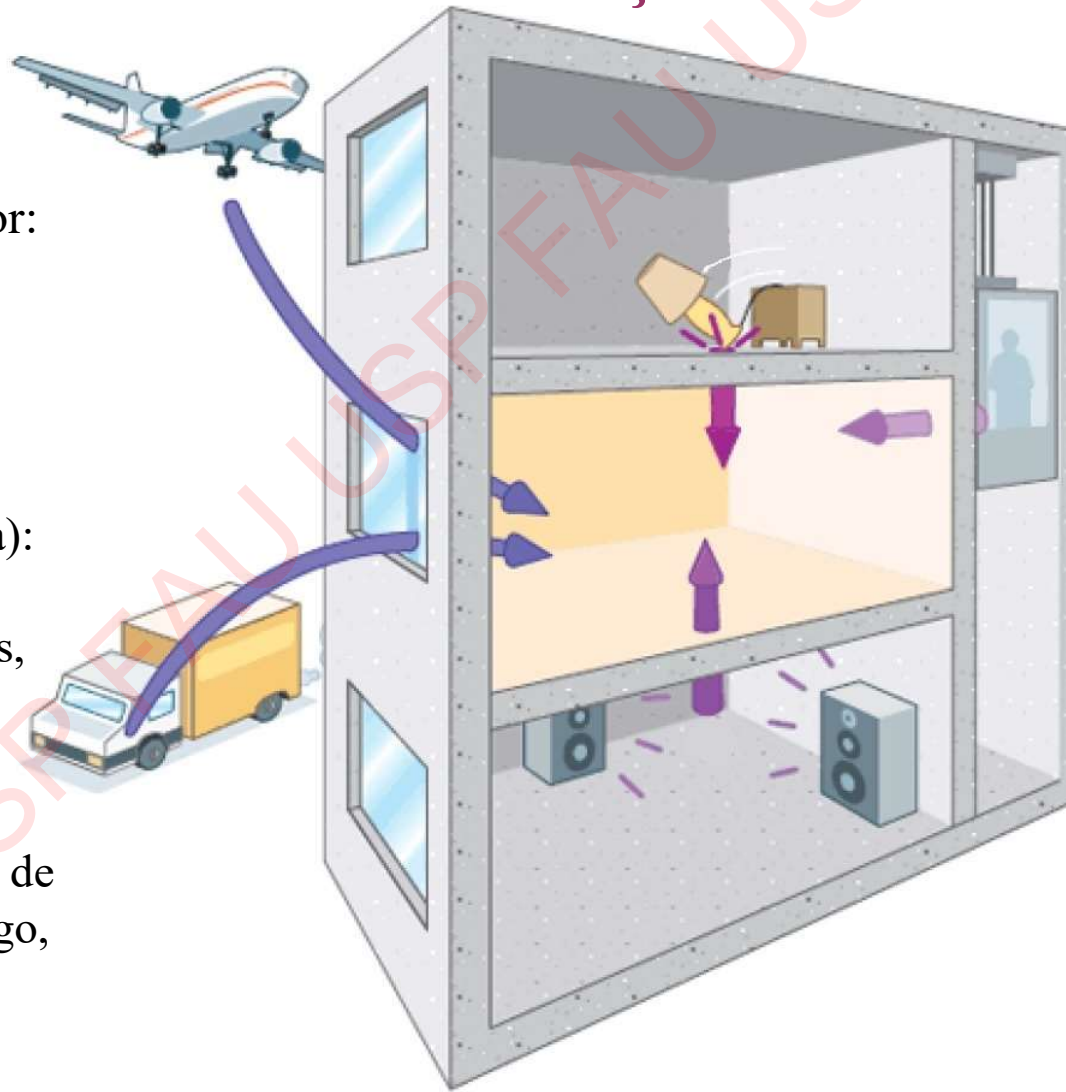
# Transmissão Sonora em Edificações



# Transmissão Sonora em Edificações



- Propagação e transmissão de ruído por:
  - **Ar:** janelas, portas, paredes divisórias, pisos, tetos, frestas e paredes de fachada.
  - **Impacto** (por via sólida, pela estrutura): passos, pulos de crianças, quedas de objetos, elevadores, arrastar de móveis, marteladas na parede, batidas nos fechamentos, vibração de máquinas elevadores, canalização, sistemas de ventilação e ar condicionado, máquinas de lavar, portões de garagem, chuva, tráfego, etc.





FAUUSP

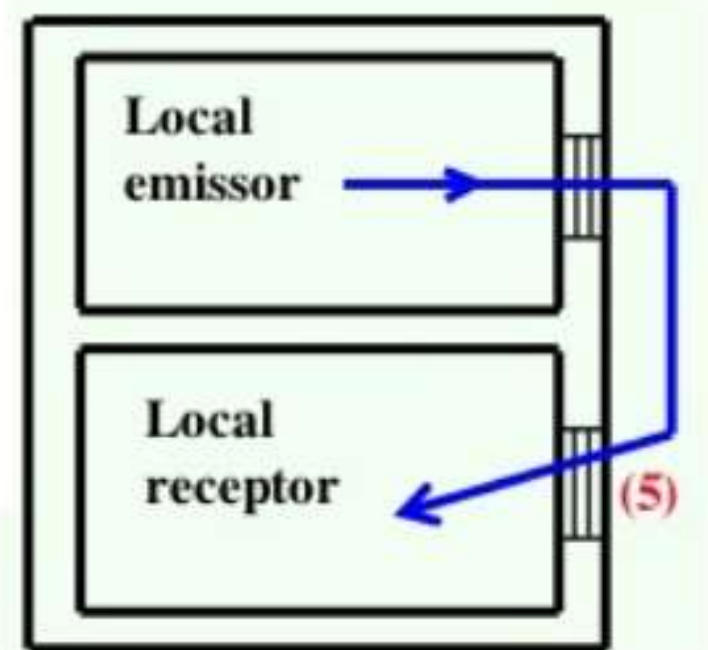
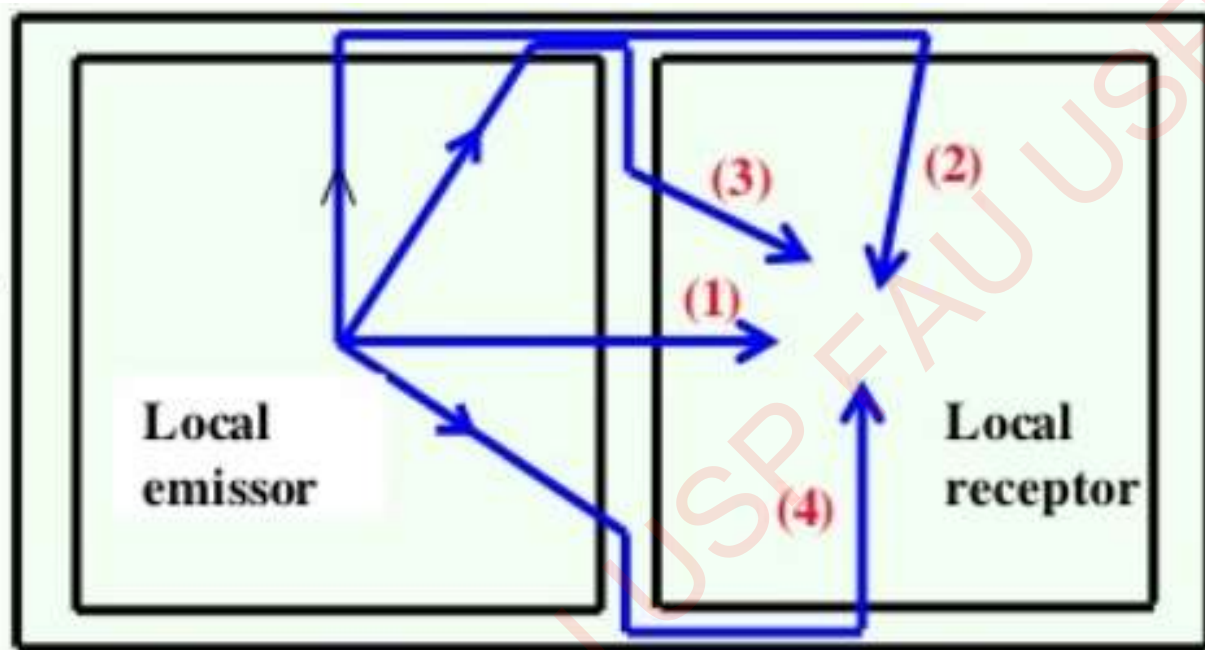
Bruno Bozzetto  
presents

Transmissão direta e

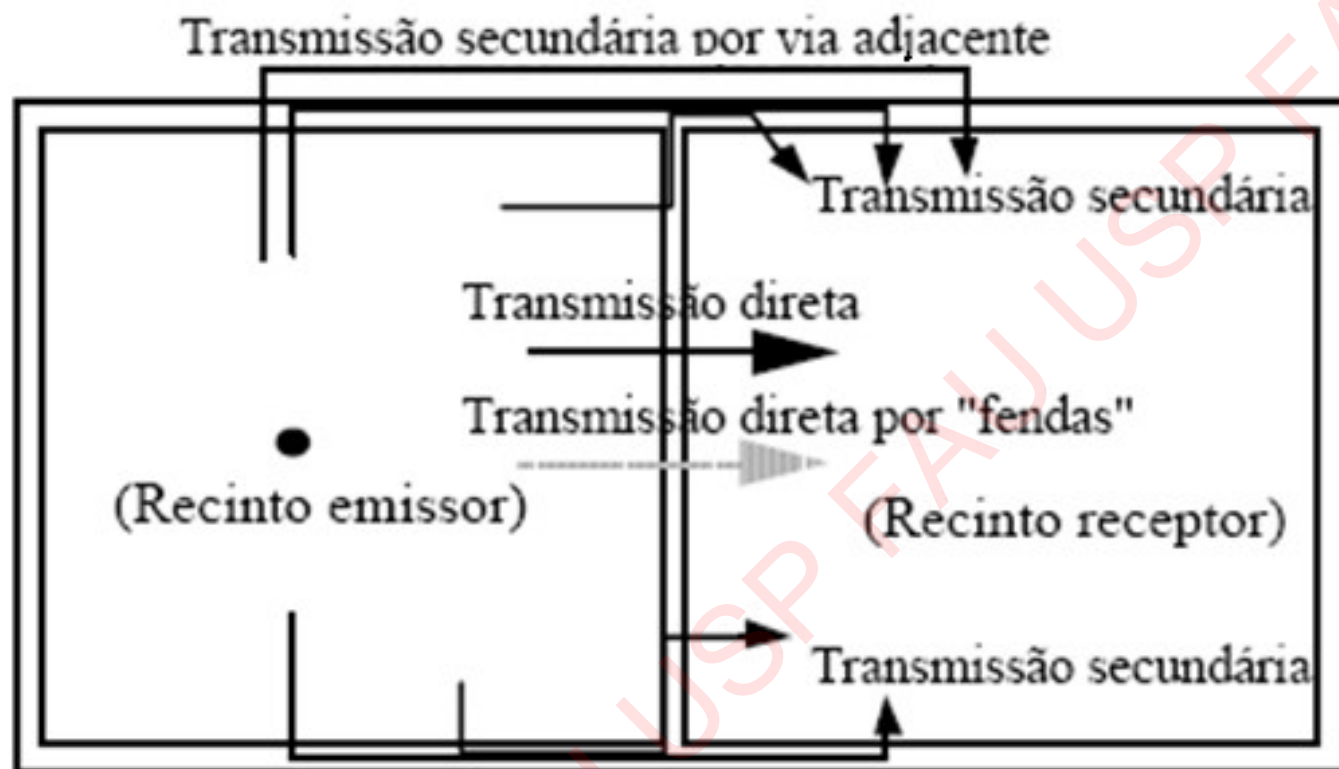
Transmissão secundária, marginal ou pelos flancos



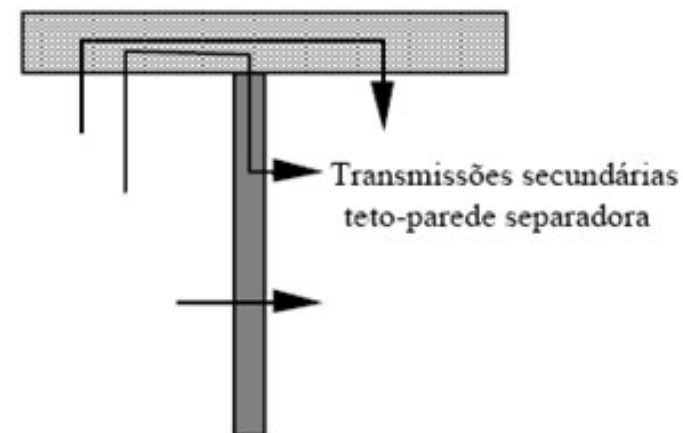
FAUUSP



## Transmissões diretas e secundárias



FAUUSP





Fonte: Veja São Paulo, Ed. Abril. 14/05/2008 e 11/08/2010

## Ruído

- Efeitos negativos
  - Psicológicos
  - Físicos
- Ficar exposto a níveis elevados de ruído por longos períodos → Nada agradável e nem saudável.





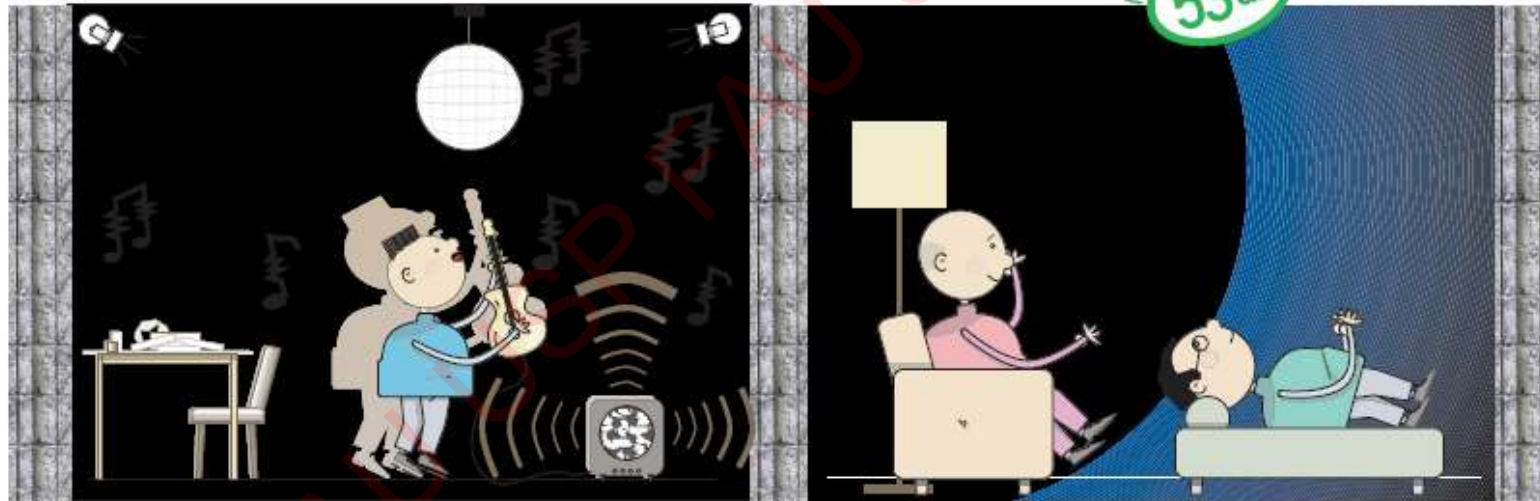






## Solução? Isolamento Sonoro

- Isolamento contra:
  - **Ruído aéreo**
  - **Ruído de impacto**
- Absorção extra
  - Reduz a intensidade reverberante, ajudando no isolamento.
  - Redução pequena em comparação ao isolamento.



# Por que o isolamento sonoro é importante?

- Incômodo
- Privacidade e Confidencialidade
- Legislação (leis estabelecem limites para níveis de ruído)

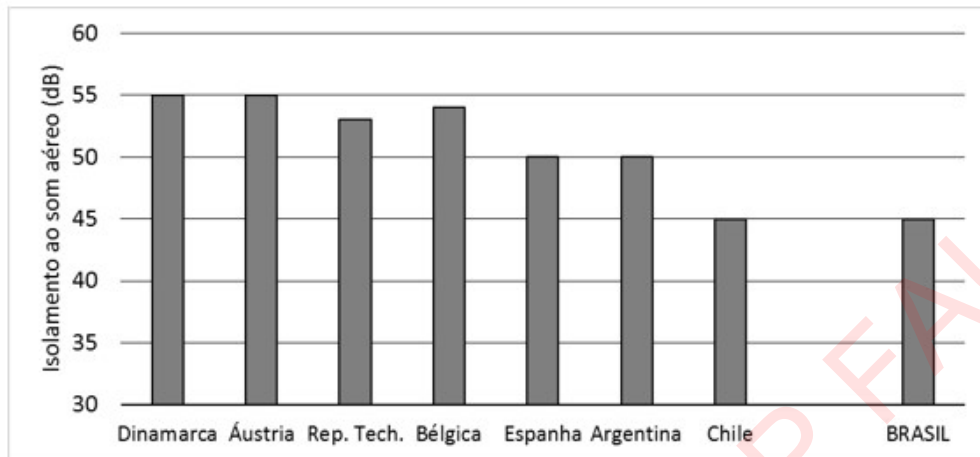


# Desempenho Acústico de Edificações

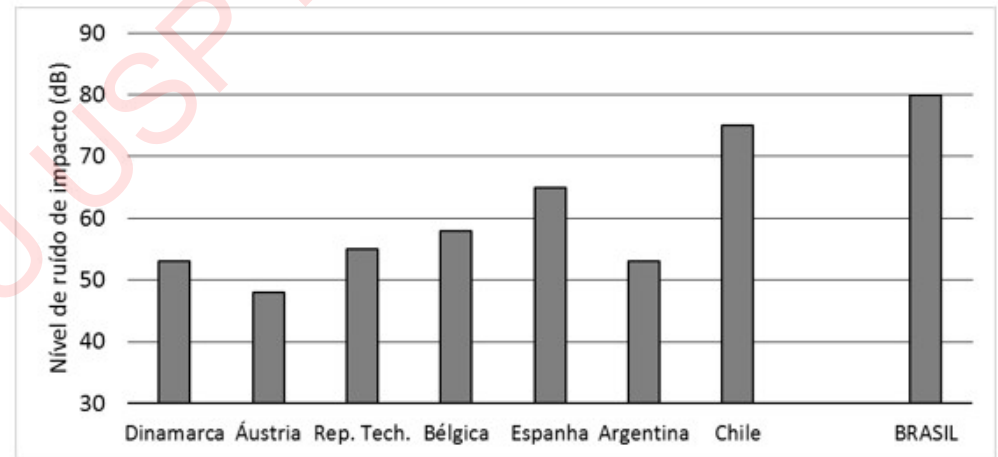


- Isolamento sonoro: propagação de ondas mecânicas + interação com os elementos e sistemas construtivos do edifício.
- Grau de restrições das regulamentações diferentes em diferentes países.
- O calor e o som são formas diferentes de energia e não sofrem o mesmo processo de transmissão. Materiais tradicionalmente eficientes para o isolamento térmico não são, necessariamente, adequados para o isolamento acústico.
- Desempenho acústico em edifícios brasileiros previsto somente para uso habitacional.
- Portugal, Espanha e Argentina: limites de desempenho acústico também para elementos construtivos em escritórios, hospitais, escolas e residências térreas.

Som/Ruído aéreo



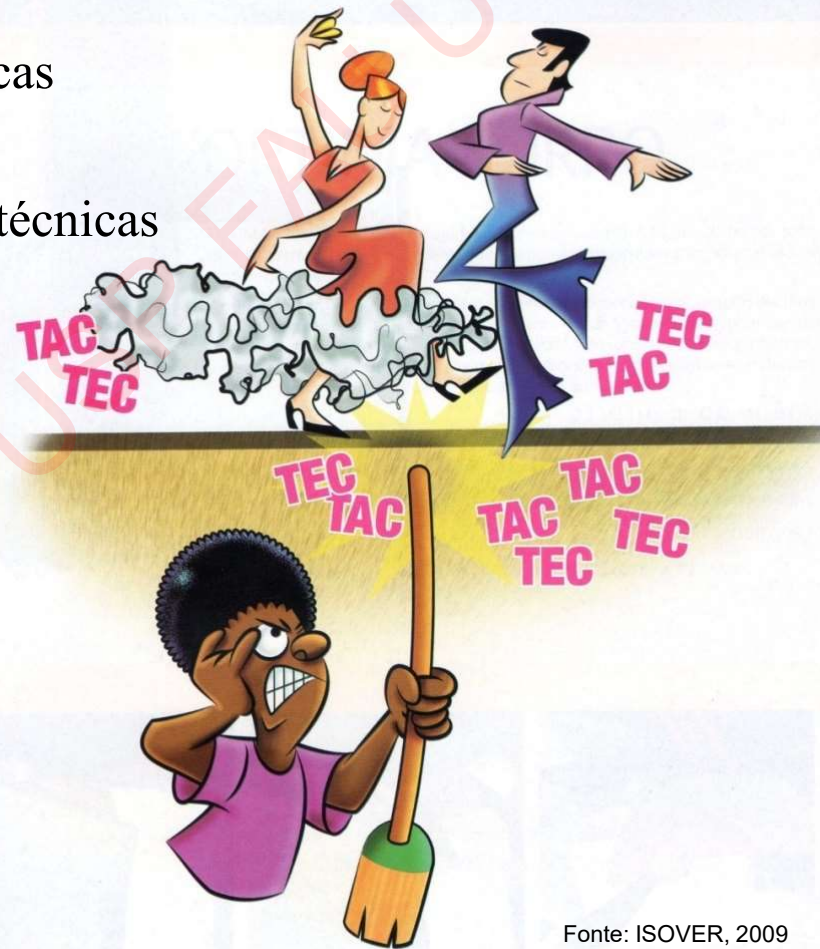
Som/Ruído de impacto



Fonte: MACHIMBARRENA, María; RASMUSSEN, Birgit. Legislation and Regulations in Building Acoustics: Comparison of acoustic regulations for housing and schools in selected countries in Europe and South America. 2016, Buenos Aires: Asociación de Acústicos Argentinos, 2016.

# Avaliação do isolamento sonoro

- Métodos de medição ou previsão – normas técnicas
- Quantificação de grandezas acústicas
- Avaliação – comparação com critérios – normas técnicas
- Solução adequada



Fonte: ISOVER, 2009

- **Coeficiente de transmissão sonora do material ( $\tau$ ):**

$$\tau = \frac{E_t}{E_i}$$

Onde:

$E_t$  é a energia sonora transmitida pela superfície do material, e  
 $E_i$  é a energia sonora incidente na superfície do material.

- Quanto menor for  $\tau$ , menor será a transmissão sonora, ou seja, mais isolante será a parede.
- Entretanto, diferente do coeficiente de absorção sonora do material ( $\alpha$ ), o coeficiente de transmissão sonora do material ( $\tau$ ) não é o parâmetro mais utilizado para caracterizar a transmissão sonora, mas sim uma grandeza dele derivada ( $PT$ ).



- **Perda na Transmissão Sonora ( $PT$ ) de um elemento construtivo:**
- ou *Índice de Enfraquecimento Sonoro ( $E$ )* de um elemento construtivo:

$$PT = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right)$$

- Expressa em dB.

- Quanto menor for  $\tau$ , mais isolante será a parede, e, portanto, maior a  $PT$ .
- Quanto maior for  $PT$ , mais isolante será a parede.
- Apesar dos valores serem tabelados, nos edifícios, a  $PT$  varia em função dos elementos, como o tamanho da barreira e a qualidade da construção, assim como falhas de estanqueidade, por exemplo.

# Exemplo

---



Exemplo 1:

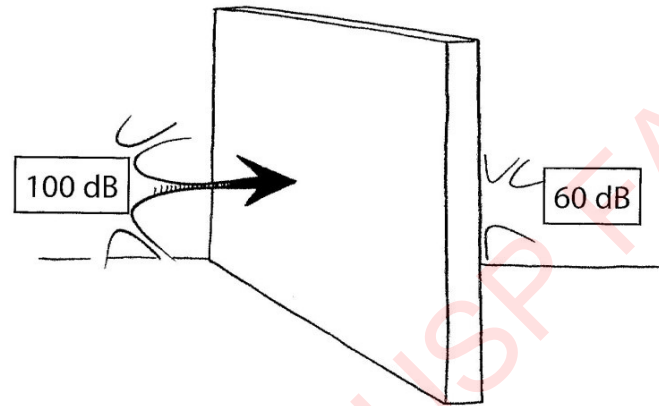
Determine a perda na transmissão sonora, para a frequência de 1000 Hz, de uma parede com coeficiente de transmissão sonora em 1000 Hz de  $\tau_{1000 \text{ Hz}} = 0,005$ .

$$\tau = 0,005$$

$$PT = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right)$$

$$PT = 10 \log \left( \frac{1}{0,005} \right) = 10 \log (200) = 23 \text{ dB}$$

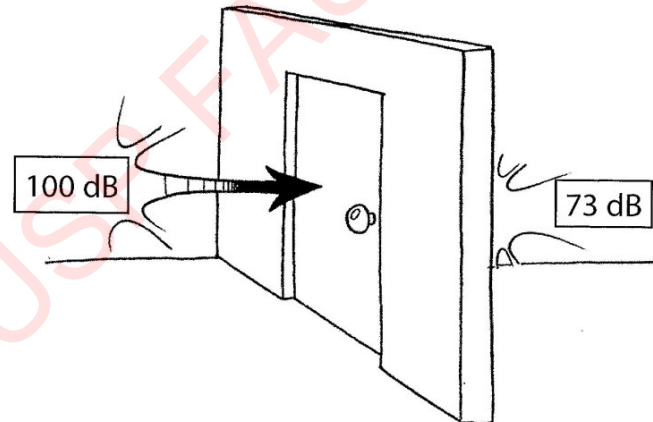
- Elementos homogêneos – parede:



$$L_1 - L_2 = 40 \text{ dB}$$



- Elementos heterogêneos – parede com porta:



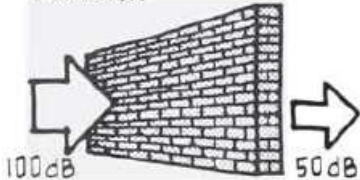
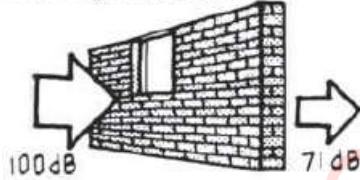
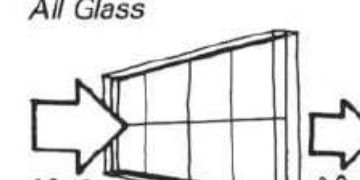
$$L_1 - L_2 = 27 \text{ dB}$$

Fonte: SOUZA *et al.* (2003)

- Parede composta por mais de um material



- Elementos heterogêneos – paredes de fachadas:

| Parede                                                                                                        | Composite TL (dB) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <i>All Brick</i><br>        | 50                |
| <i>One-Eighth Glass</i><br> | 29                |
| <i>One-Fourth Glass</i><br> | 26                |
| <i>One-Half Glass</i><br>  | 23                |
| <i>All Glass</i><br>      | 20                |



- Elementos heterogêneos:



- Quando um elemento acusticamente mais fraco, como por exemplo, uma janela ou uma porta, é inserido numa parede (elemento acusticamente mais forte), o desempenho global cai consideravelmente e tende a se aproximar do valor do elemento mais fraco.

- **Perda na Transmissão Sonora Composta ou Global ( $PT_c$ ), em dB**

$$PT_c = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_c} \right)$$

$$PT_c = 10 \log \frac{\sum S_i}{\sum \tau_i S_i}$$

$$\tau_c = \frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i}$$

$$PT_i = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_i} \right) \therefore \tau_i = 10^{-PT_i/10}$$

$$\tau_c = \frac{\tau_{janela} S_{janela} + \tau_{parede} S_{parede}}{S_{janela} + S_{parede}}$$

- Onde:

$S_i$  é a área do elemento  $i$  (m<sup>2</sup>)

$\tau_i$  é o coeficiente de transmissão sonora do elemento  $i$ .

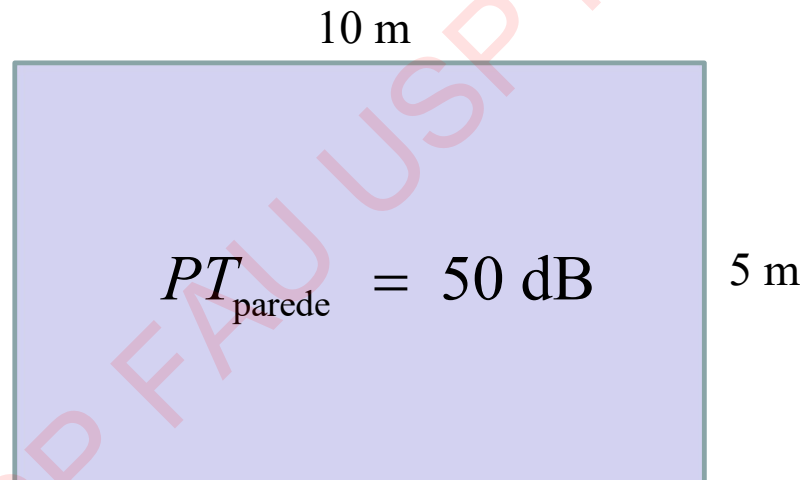
# Exemplo

---



Exemplo 2:

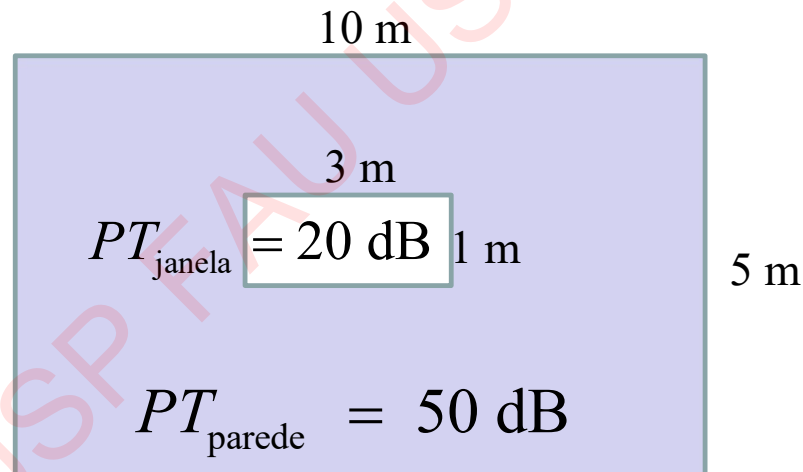
A perda na transmissão sonora da parede abaixo (10 m x 5 m) é 50 dB:



## Exemplo



Após inserir uma janela de 3 m x 1 m, com perda na transmissão sonora de 20 dB, determine a perda na transmissão sonora composta pelo conjunto parede + janela.



# Exemplo



Exemplo 2:

$$S_{janela} = ?$$

$$S_{janela} = 3 \text{ m}^2$$

$$S_{parede} = ?$$

$$S_{parede} = 50 - 3 = 47 \text{ m}^2$$

$$\tau_{janela} = ?$$

$$\tau_{parede} = ?$$

$$PT = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad \therefore \quad \tau = 10^{-PT/10}$$

$$PT_{janela} = 20 \text{ dB} \quad \tau_{janela} = 10^{-PT_{janela}/10} = 10^{-2} = 0,01 \quad \tau_c = ?$$

$$PT_{parede} = 50 \text{ dB} \quad \tau_{parede} = 10^{-PT_{parede}/10} = 10^{-5} = 0,00001$$

# Exemplo



Exemplo 2:

$$\tau_{janela} = 0,01$$

$$S_{janela} = 3 \text{ m}^2$$

$$\tau_{parede} = 0,00001$$

$$S_{parede} = 47 \text{ m}^2$$

$$\tau_c = ?$$

$$\tau_c = \frac{\tau_{janela} S_{janela} + \tau_{parede} S_{parede}}{S_{janela} + S_{parede}}$$

$$\tau_c = \frac{(0,01 \cdot 3 + 0,00001 \cdot 47)}{3 + 47} = 0,0006094$$

$$PTc = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_c} \right)$$

$$PTc = 10 \log \left( \frac{1}{0,0006094} \right) = 32 \text{ dB}$$

## Exemplo



Exemplo 3:

Determine a perda na transmissão sonora composta, para a frequência de 1000 Hz, de um painel com área total de 10 m<sup>2</sup>, que apresenta  $PT = 30$  dB, ao se inserir um painel de 3 m<sup>2</sup> com  $PT = 10$  dB.

$$\begin{array}{lll} PT_1 = 30 \text{ dB} & S_1 = 7 \text{ m}^2 & \tau_1 = 10^{-PT_1/10} = 10^{-3} = 0,001 \\ PT_2 = 10 \text{ dB} & S_2 = 3 \text{ m}^2 & \tau_2 = 10^{-PT_2/10} = 10^{-1} = 0,1 \end{array}$$

$$PT = 10 \log \left( \frac{1}{\tau} \right) \quad \tau_c = \frac{\sum \tau_i S_i}{\sum S_i} = \frac{\tau_1 S_1 + \tau_2 S_2}{S_1 + S_2} = \frac{(0,001 \cdot 7 + 0,1 \cdot 3)}{7 + 3}$$

$\therefore$

$$\tau_c = \frac{0,307}{10} = 0,0307$$

$$\tau = 10^{-PT/10}$$

$$PT_c = 10 \log \left( \frac{1}{\tau_c} \right) = 10 \log \left( \frac{1}{0,0307} \right) = 15 \text{ dB}$$

## No Stoa:



- **Arquivo em Excel**

### **Planilha Acústica AUT0286 - 02**

Tabela de coeficientes de absorção de diversos materiais

Cálculo do TR

Tabela de Perda na Transmissão para sons aéreos de diversos elementos construtivos

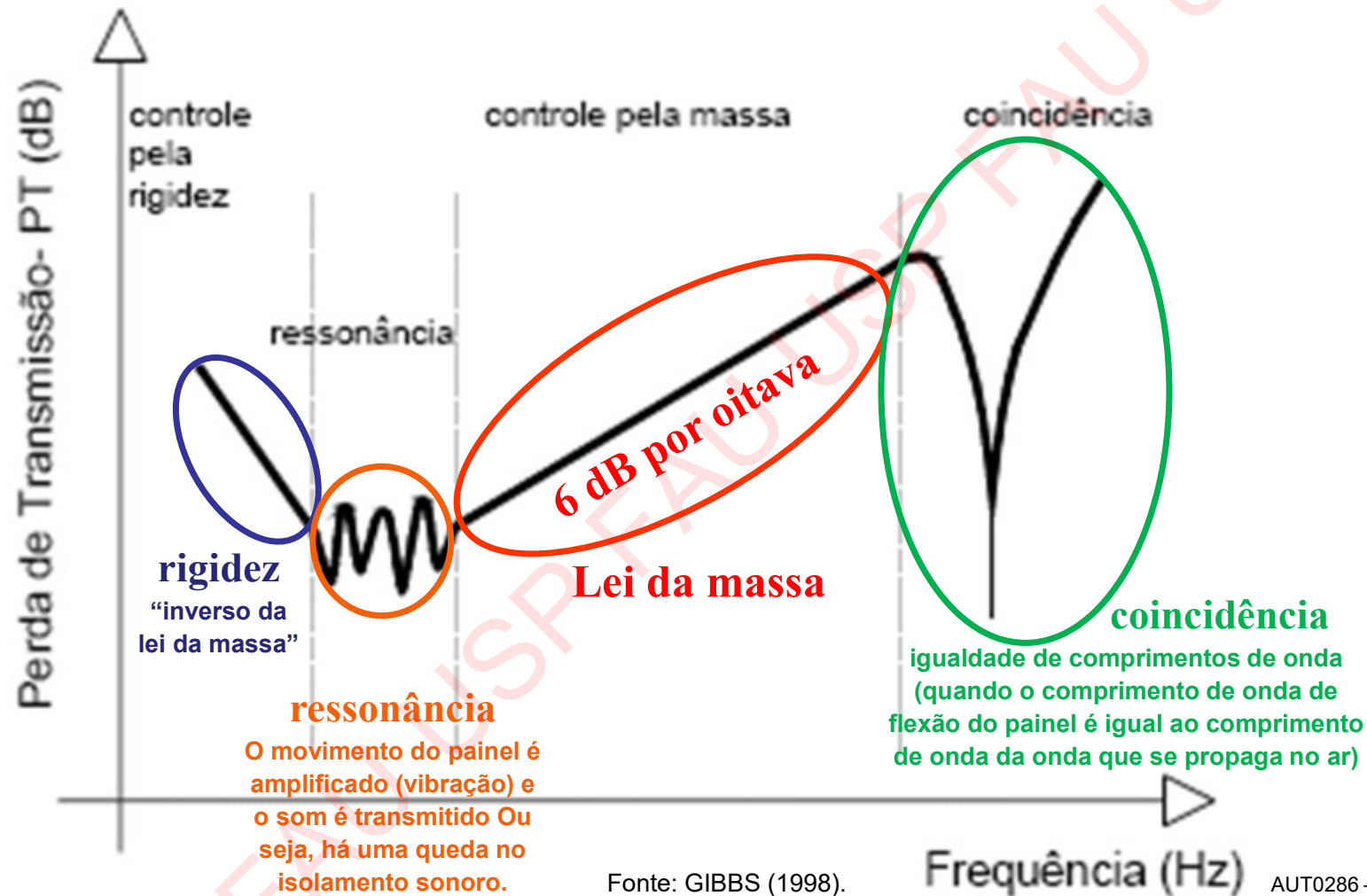
Cálculo da Perda na Transmissão Composta (ou Global)

- **Curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis simples (sólidos e homogêneos):**

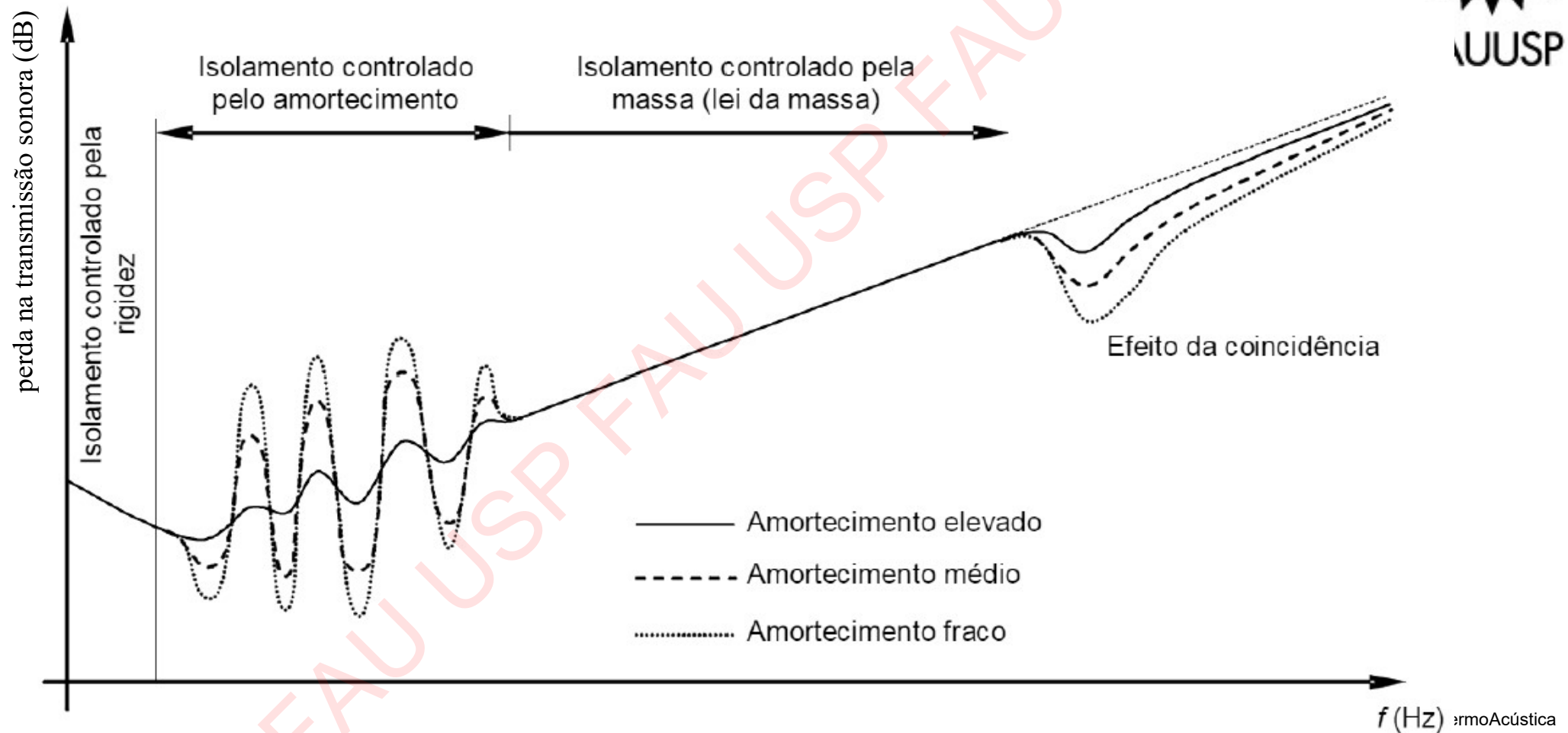


- A PT é fortemente dependente da frequência do som incidente.
- O som que é transmitido para o ambiente receptor apresentará um espectro diferente do som original, pois as altas frequências são mais atenuadas que as baixas.

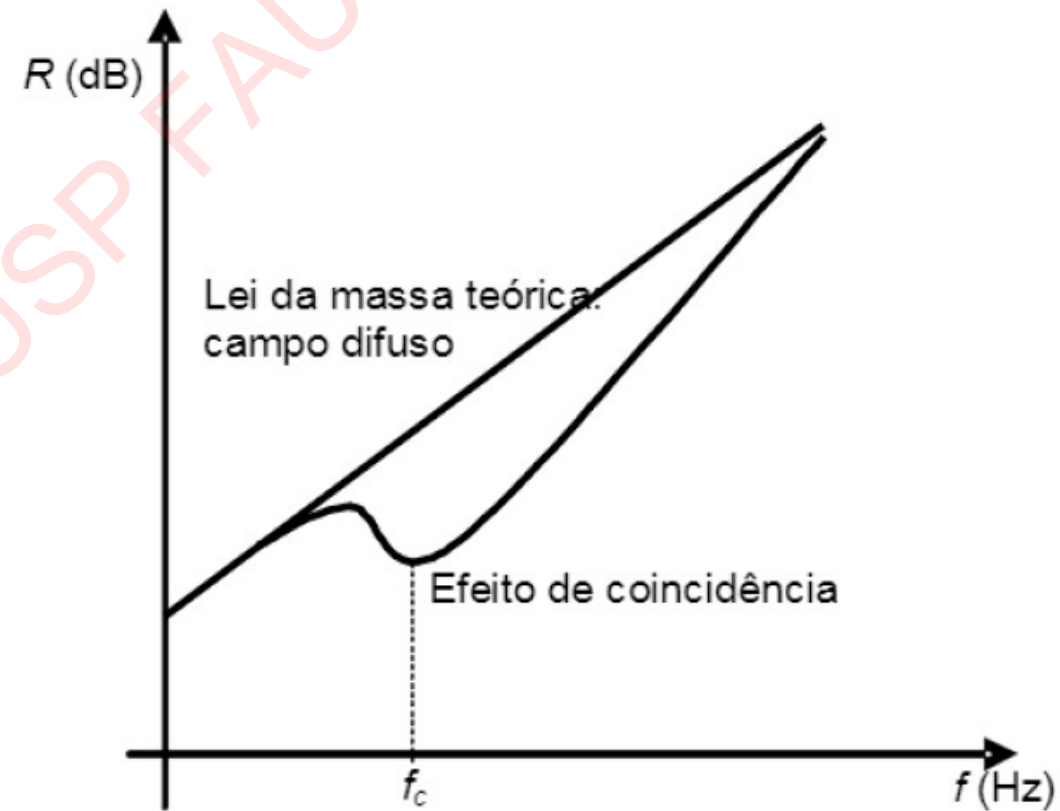
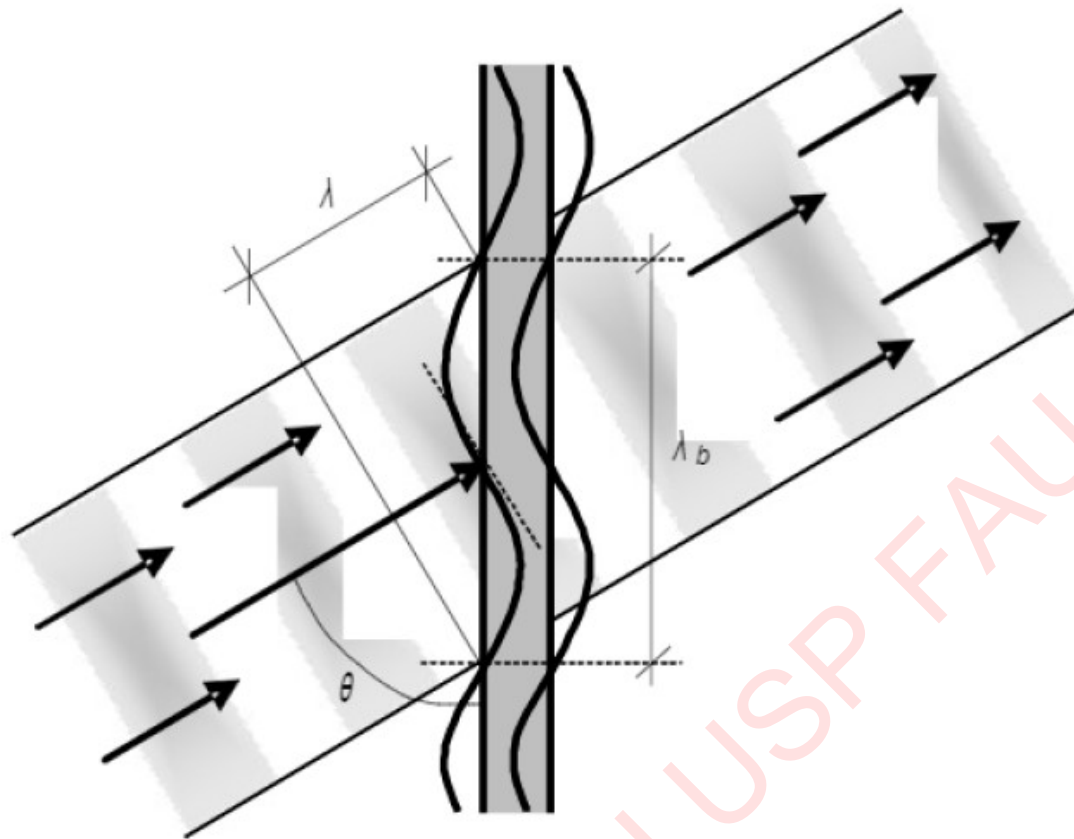
- Curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis simples (sólidos e homogêneos):



- Curva típica de perda na transmissão em função da frequência, de painéis simples (sólidos e homogêneos):



- Efeito de coincidência



- **Densidades e frequências críticas de alguns materiais:**

| Material                       | Densidade (kg/m³) | fc h (Hz x cm) |
|--------------------------------|-------------------|----------------|
| Alumínio                       | 2700              | 1200           |
| Concreto denso                 | 2400              | 1800           |
| Blocos leves de concreto       | 1100              | 2100           |
| Parede de alvenaria de tijolos | 1200              | 2700           |
| Madeira                        | 550               | 900            |
| Aglomerado de madeira          | 500               | 1600           |
| Vidro                          | 2500              | 1200           |
| Aço                            | 780               | 1250           |
| Gesso acartonado               | 800               | 3800           |

**Exemplos:**

- Vidro 6 mm

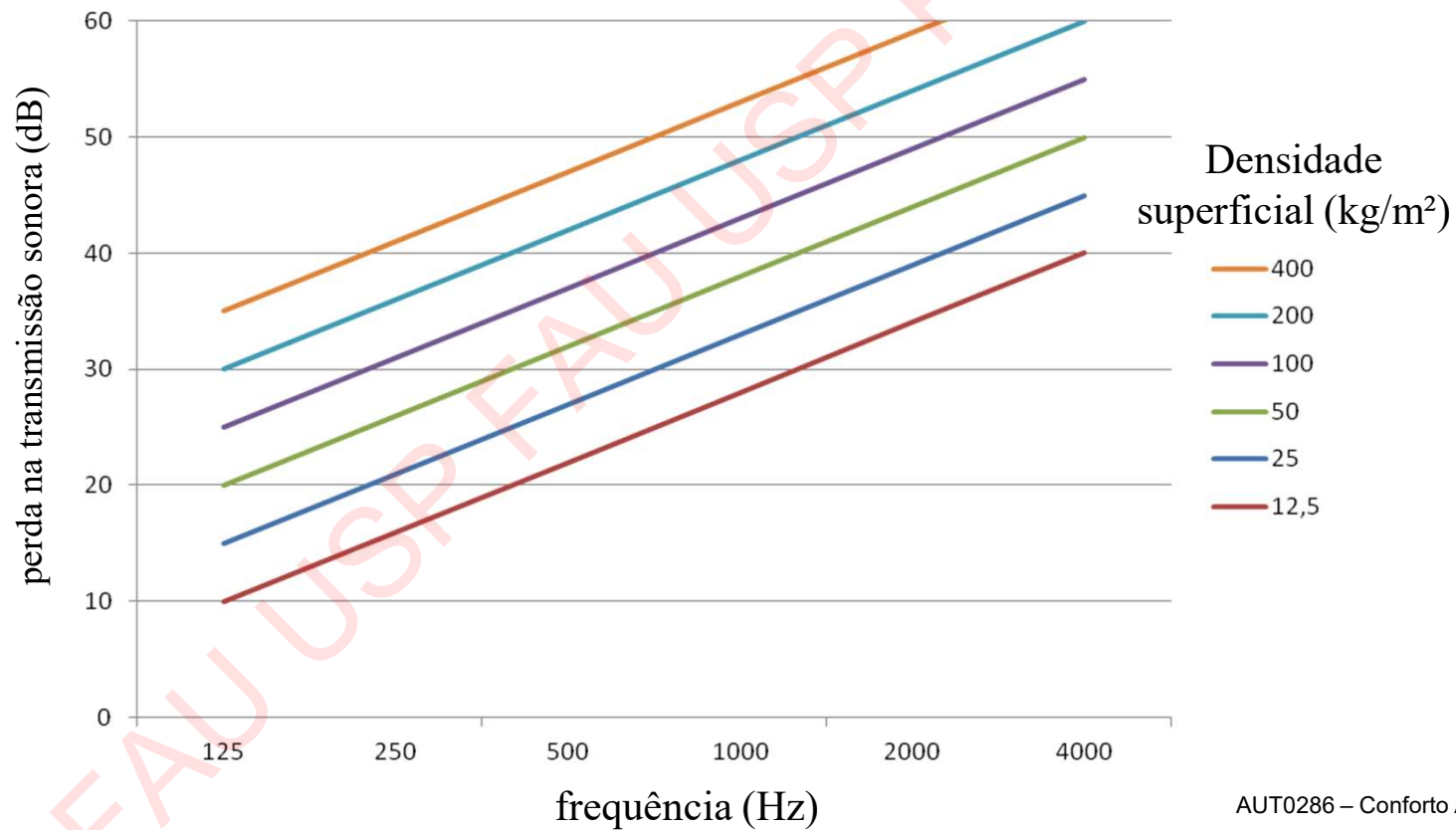
$$f_c = 1200 \times 0,6 = 2000 \text{ Hz}$$

- Vidro 4 mm

$$f_c = 1200 \times 0,4 = 3000 \text{ Hz}$$

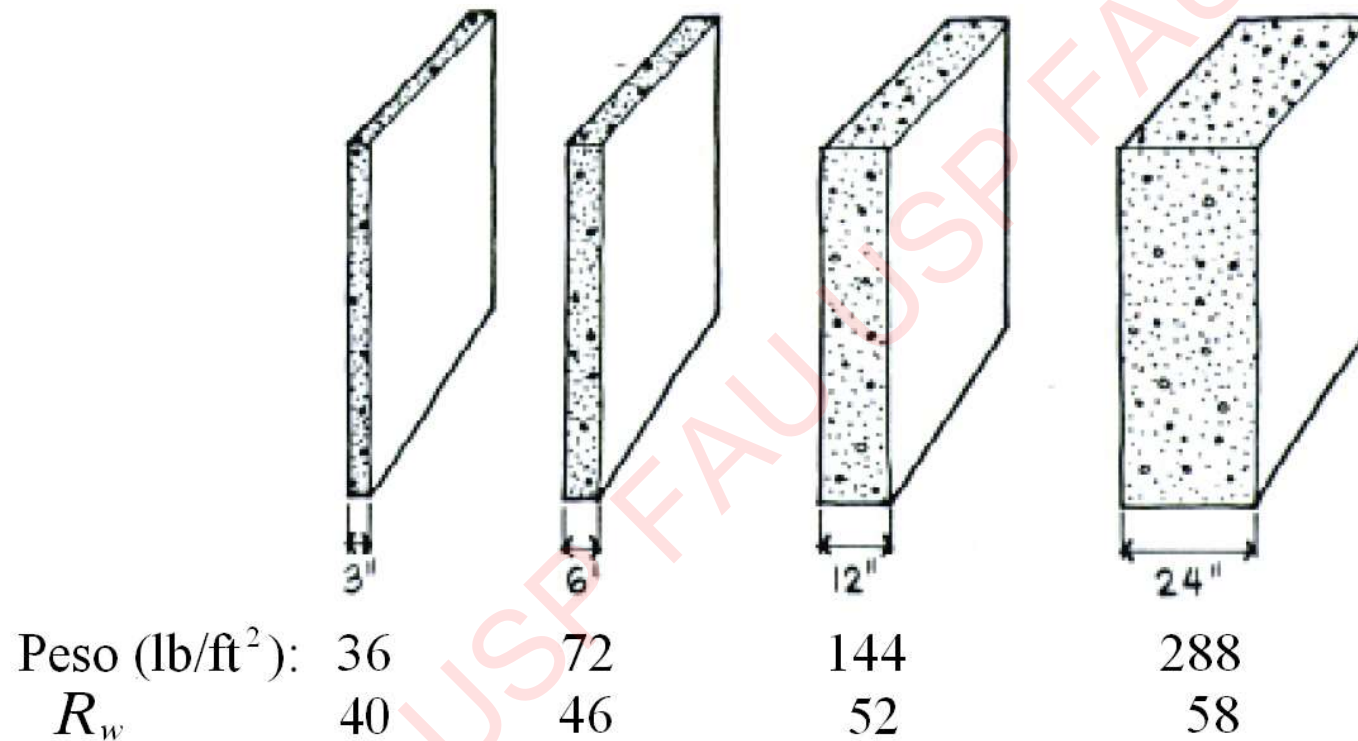
- **Lei da Massa**

- A perda na transmissão sonora aumenta 6 dB cada vez que se dobra a massa ou cada vez que se dobra a frequência da onda sonora incidente.



- **Lei da Massa**

- Paineis simples:



A transmissão sonora é controlada pela massa.

- **Lei da Massa**

- Com o aumento da frequência:

| 125 Hz      | 250 Hz     | 500 Hz   | 1000 Hz    | 2000 Hz     |
|-------------|------------|----------|------------|-------------|
| $(x-12)$ dB | $(x-6)$ dB | $(x)$ dB | $(x+6)$ dB | $(x+12)$ dB |





- **Lei da Massa**
- A  $PT$  pode ser calculada para partições homogêneas pela Lei da Massa:
- **Partição sólida e homogênea:**

$$PT = 20 \log(f \cdot M) - 47 \text{ dB}$$

- Onde:
  - $f$  é a frequência da onda sonora incidente (Hz)
  - $M$  é a densidade superficial da partição ( $\text{kg/m}^2$ )

- **Lei da Massa**
- E para partições homogêneas com cavidade:

- **Partições homogêneas com cavidades:**

$$PT = 20 \log(M \cdot d) + 34 \text{ dB}$$

- Onde:
  - M é a densidade superficial da partição ( $\text{kg/m}^2$ )
  - d é a largura da cavidade (m)

# Exemplo



Exemplo 4-a:

Qual é a perda na transmissão sonora ( $PT$ ) para a frequência de 1000 Hz de um painel de compensado, com densidade de 50 kg/m<sup>2</sup>?

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$M = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$PT = 20 \log(f \cdot M) - 47$$

$$PT = 20 \log(1000 \cdot 50) - 47$$

$$PT = 20 \log(5 \times 10^4) - 47$$

$$PT = 20 \log(5) + 20 \log(10^4) - 47$$

$$PT = 20 \cdot 0,699 + 20 \cdot 4 - 47$$

$$PT = 14 + 80 - 47$$

$$PT = 47 \text{ dB}$$

## Exemplo



Exemplo 4-b:

Qual é a perda na transmissão sonora ( $PT$ ) para a frequência de 1000 Hz de um painel duplo de compensado, com densidade de 50 kg/m<sup>2</sup> e um espaçamento de 10 cm?

$$f = 1000 \text{ Hz}$$

$$M = 50 \text{ kg/m}^2$$

$$d = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$$

$$PT = 20 \log(M \cdot d) + 34$$

$$PT = 20 \log(50 \cdot 0,1) + 34$$

$$PT = 20 \log(5) + 34$$

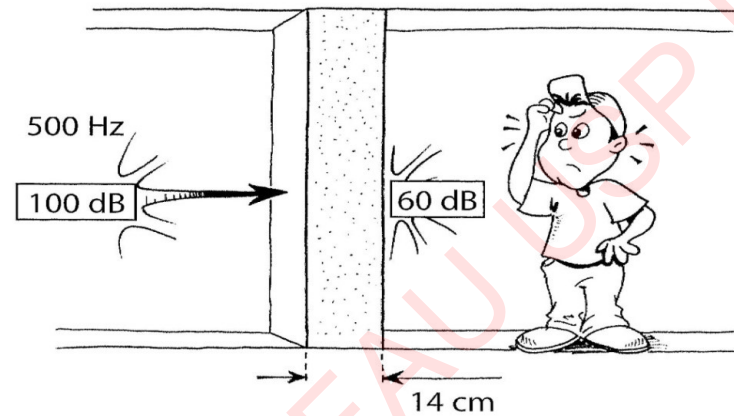
$$PT = 20 \cdot 0,699 + 34$$

$$PT = 14 + 34$$

$$PT = 48 \text{ dB}$$

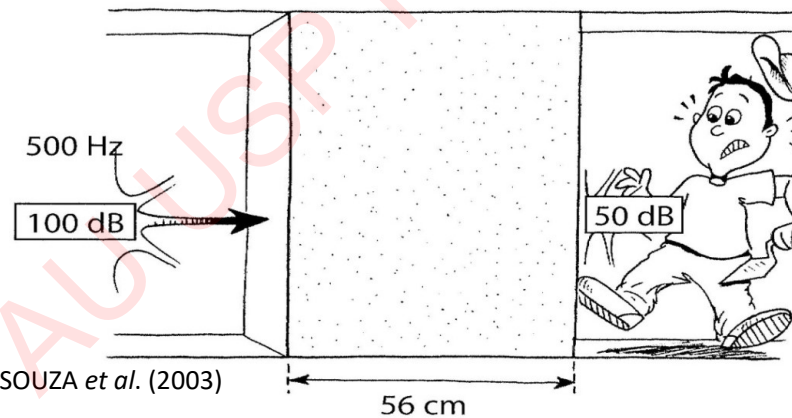
- **Lei da Massa**

- Valor de atenuação da intensidade sonora pela lei da massa é baixo. →  
Aumento da massa nem sempre é viável.



$$e = 14 \text{ cm}$$

$$L_1 - L_2 = 40 \text{ dB}$$



$$e = 56 \text{ cm}$$

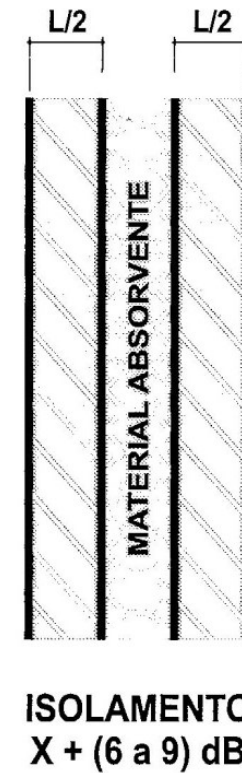
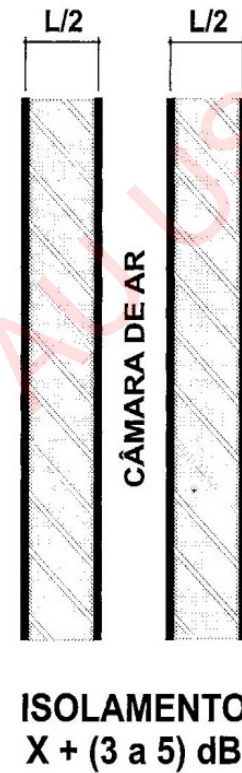
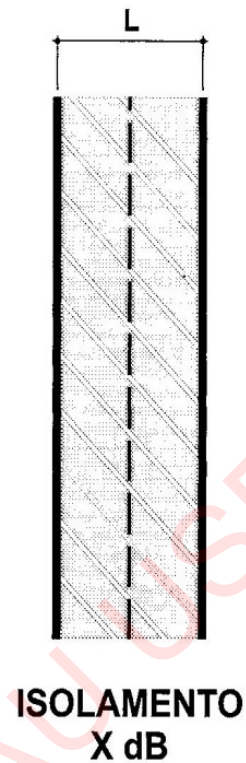
$$L_1 - L_2 = 50 \text{ dB}$$

Fonte: SOUZA et al. (2003)



- **Como aumentar o isolamento sonoro sem aumentar muito a massa?**

- **Paredes duplas: Efeito massa – mola – massa**
  - Material (ou sistema) + espaço vazio + material (ou sistema)
  - Material (ou sistema) + material absorvente + material (ou sistema)

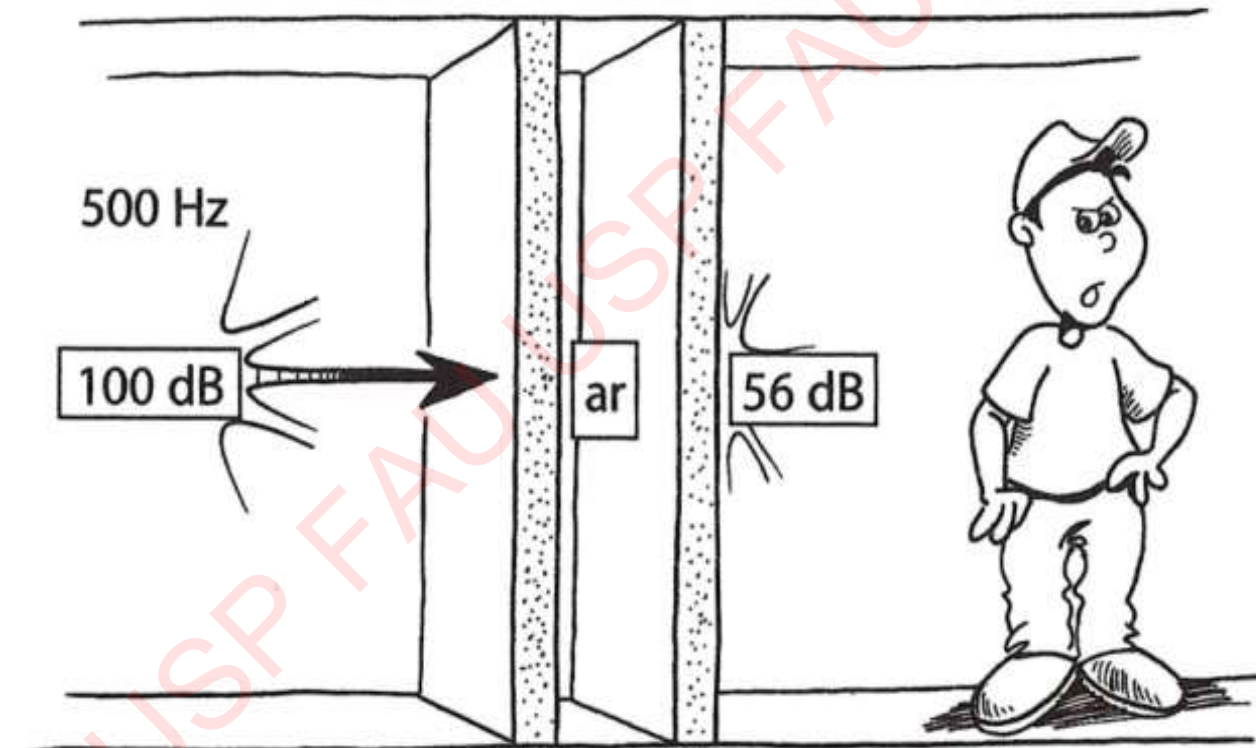


- Paredes duplas



parede dupla com  
espaçamento de ar

$$L_1 - L_2 = 44 \text{ dB}$$

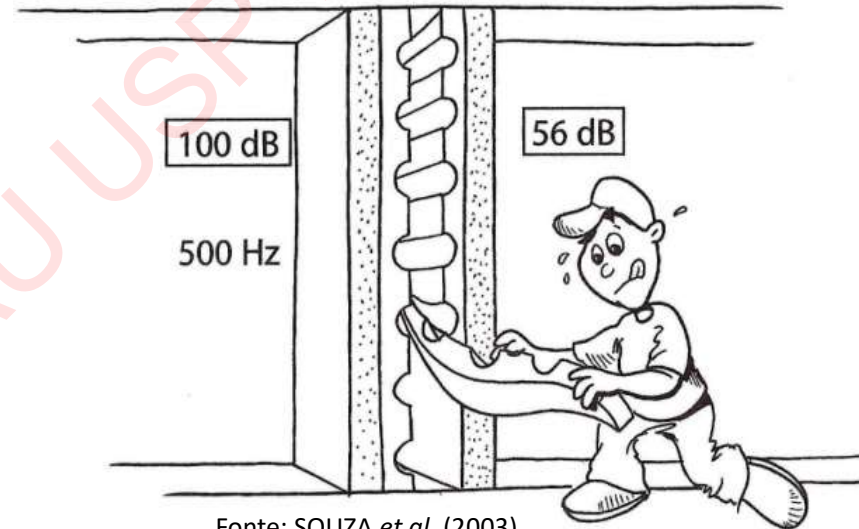
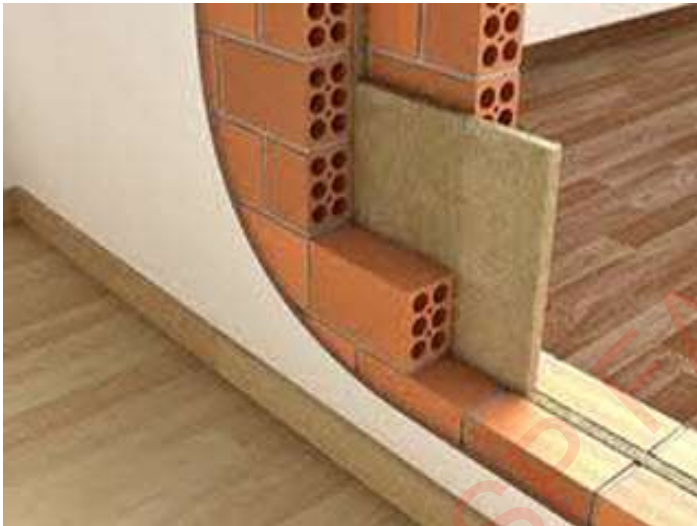


Fonte: SOUZA *et al.* (2003)

- **Paredes duplas: Efeito massa – mola – massa**

- Quanto maior a massa da mola, maior a capacidade de isolamento sonoro do sistema.

$$L_1 - L_2 = 44 \text{ dB}$$



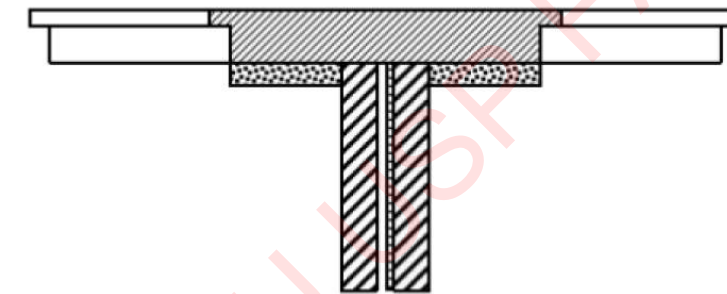
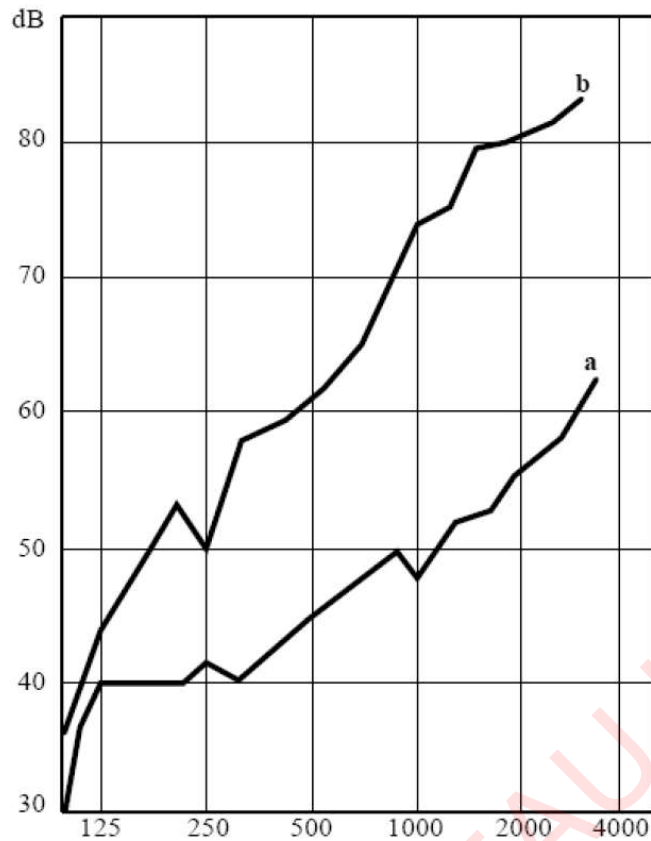
Fonte: SOUZA *et al.* (2003)

Material de absorção sonora no interior da parede dupla

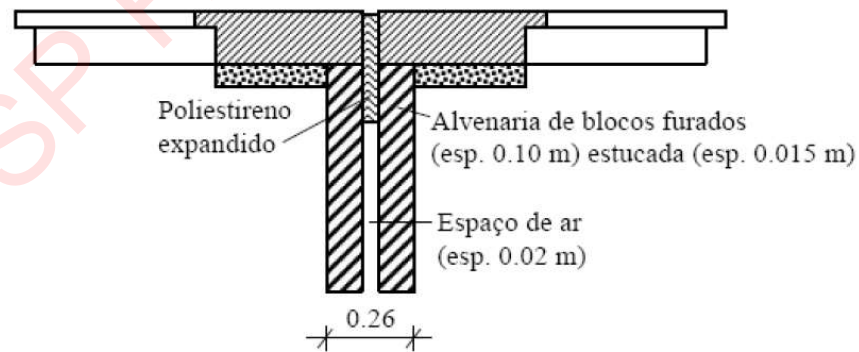
- Mola: camada de material flexível, que possa ser deformado sem perder suas propriedades elásticas, utilizado entre duas camadas de material rígido.

## • Paredes duplas

- Os dois painéis da parede dupla devem ser mecânica e acusticamente isolados um do outro  
→ melhores resultados.

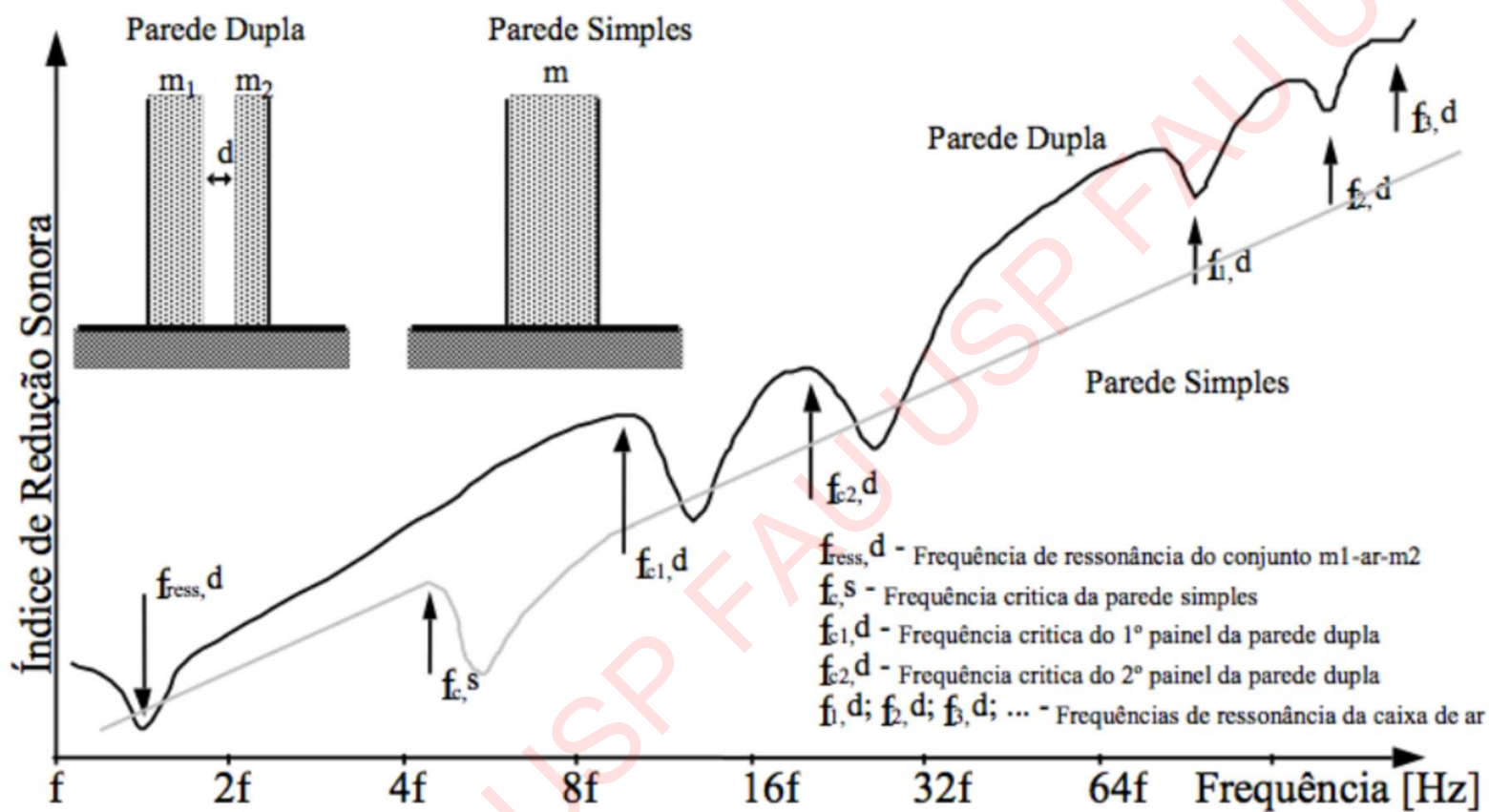


a) ligação com continuidade



b) ligação descontínua (junta de dilatação)

- Parede dupla e Parede simples



Comparação das curvas do Índice de Redução Sonora para uma parede simples e outra dupla com a mesma massa (Tadeu et al., 2010).

- Influência da  $D_{nT,w}$  sobre a inteligibilidade da fala para ruído no ambiente interno em torno de 35 dB a 40 dB.



| <b>Inteligibilidade de fala alta no recinto adjacente</b> | <b>Isolamento sonoro, <math>D_{nT,w}</math> [dB]</b> |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Claramente audível: ouve e entende                        | 35                                                   |
| Audível: ouve, entende com dificuldade                    | 40                                                   |
| Audível: não entende                                      | 45                                                   |
| Não audível                                               | $\geq 50$                                            |

Fonte: ABNT (2013).

- **Como é medida ou calculada a perda na transmissão sonora e os parâmetros de isolamento sonoro?**

- Determinados experimentalmente através de ensaios normalizados internacionalmente por normas ISO.

ISO 10140-1, 2, 4, 5 (laboratório)

ISO 16283-1 (campo - *airborne sound insulation*)

ISO 16283-3 (campo - *façade sound insulation*)

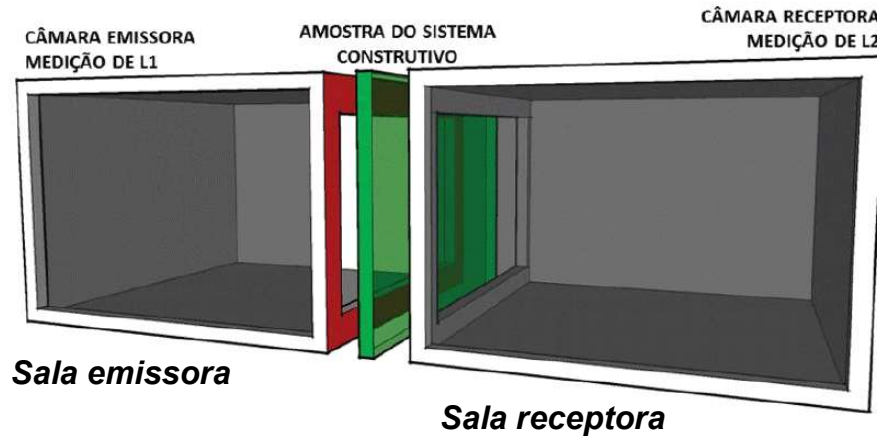
- As medições podem ser realizadas:

- Em campo (*in situ*).
- Em laboratório (câmaras reverberantes adjacentes).

- Ou estimados através de método normalizado internacionalmente por norma ISO.

ISO 12354 (Partes 1 a 4) – cálculo!

# Medição do isolamento sonoro aéreo



- **Como é medido?**

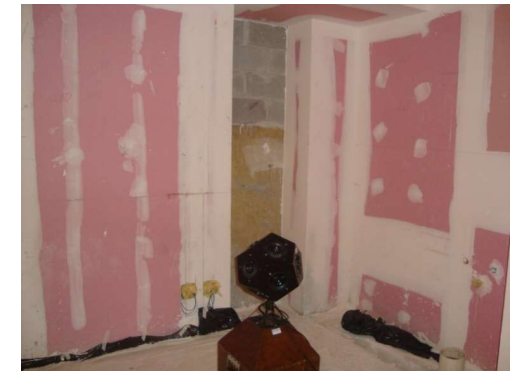
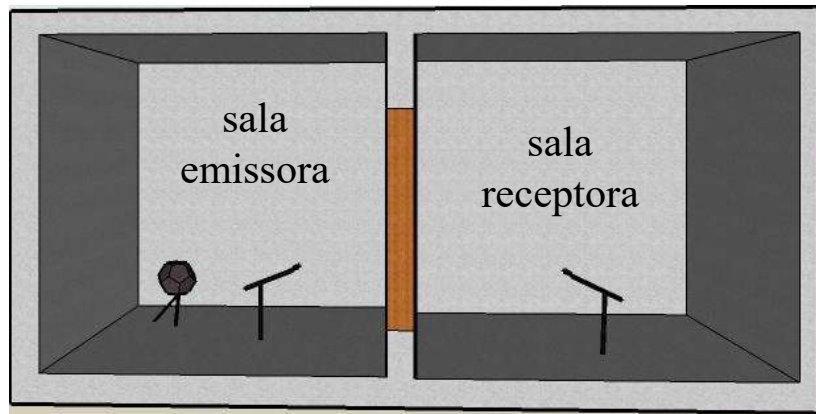
Na sala emissora ou do lado externo da fachada é gerado um sinal de excitação (ruído branco ou *sweep*).

As diferenças de nível entre os ambientes são calculadas.

O tempo de reverberação da sala receptora é medido.



# Medição do isolamento sonoro aéreo



- Instrumentação:
  - Medidor de nível de pressão sonora
  - Fonte sonora: omnidirecional (dodecaedro).
  - Para medir o tempo de reverberação da sala receptora: Fonte sonora e medidor de nível de pressão sonora.

Cálculo do parâmetro em função da frequência.

Cálculo do valor ponderado do parâmetro:  $R_w$ ;  $D_{nT,w}$ ;  $D_{2m,nT,w}$



# Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)



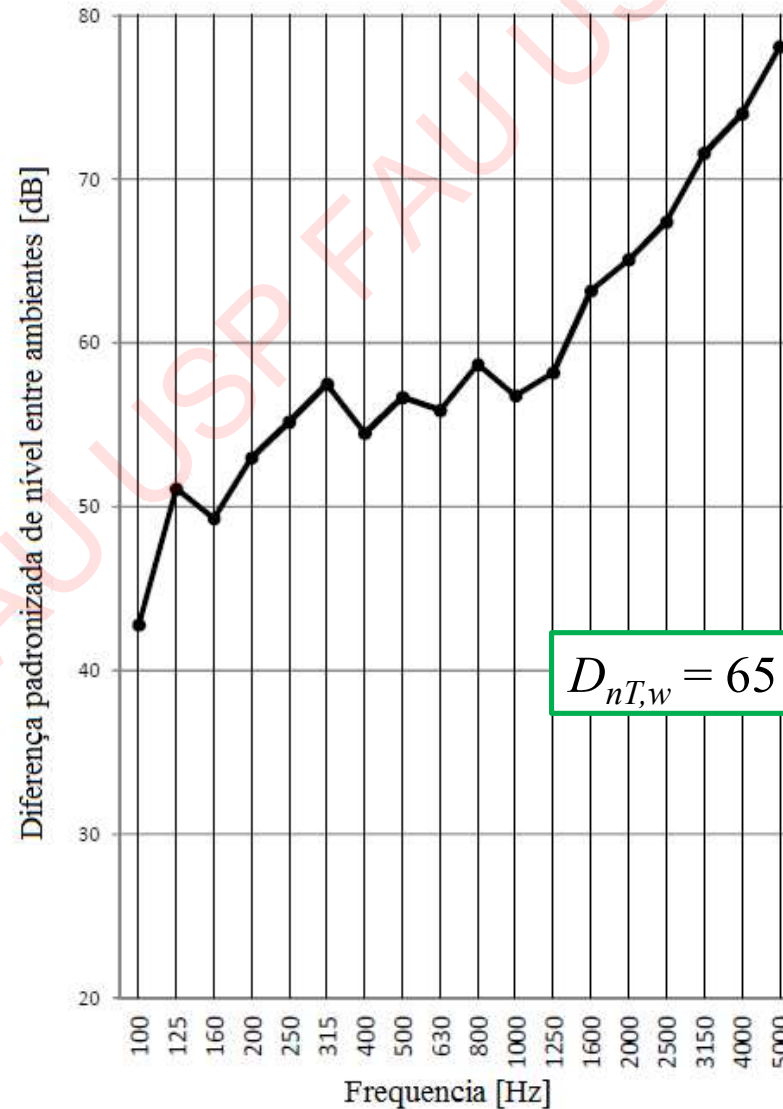
## **Itt Performance**

(Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil)  
São Leopoldo - RS



- Como são apresentados os resultados das medições?

| Frequência (Hz) | $D_{nT}$ (dB) |
|-----------------|---------------|
| 100             | 42,8          |
| 125             | 51,1          |
| 160             | 49,3          |
| 200             | 53,0          |
| 250             | 55,2          |
| 315             | 57,5          |
| 400             | 54,5          |
| 500             | 56,7          |
| 630             | 55,9          |
| 800             | 58,7          |
| 1000            | 56,8          |
| 1250            | 58,2          |
| 1600            | 63,2          |
| 2000            | 65,1          |
| 2500            | 67,4          |
| 3150            | 71,6          |
| 4000            | 74,0          |
| 5000            | 78,1          |





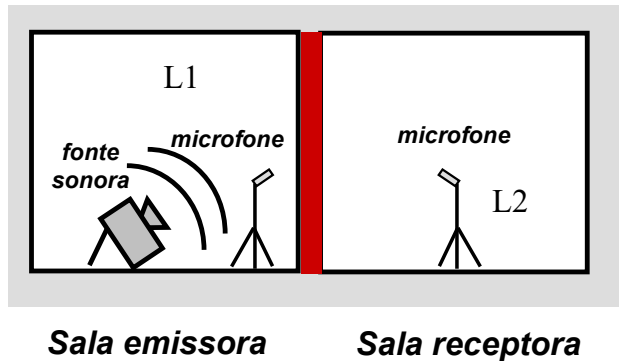
- Índice de redução sonora aérea da parede ( $R$ )
- Diferença padronizada de nível entre ambientes ( $D_{nT}$ )
- Diferença padronizada de nível de fachada ( $D_{2m,nT}$ )



- **A redução sonora aérea entre ambientes depende de quais fatores?**

- Perda na transmissão sonora ( $PT$ ) da parede comum que divide a sala emissora da sala receptora.
- Área da parede.
- Absorção da sala receptora:
  - O ruído é maior em salas reverberantes (vivas) do que em salas altamente absorvedoras (mortas).

- Índice de redução sonora aérea da parede ( $R$ ) ou Perda na Transmissão ( $PT$ ) ou *Sound Transmission Loss* ( $TL$ ) [dB]:



$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right)$$

$L_1 \rightarrow$  nível de pressão sonora médio na sala emissora, em dB.

$L_2 \rightarrow$  nível de pressão sonora médio na sala receptora, em dB.

$S \rightarrow$  área da parede, em  $m^2$ .

$A \rightarrow$  área de absorção sonora equivalente da sala receptora, em  $m^2$  Sabin.

$V \rightarrow$  volume da sala receptora, em  $m^3$ .

$T \rightarrow$  tempo de reverberação da sala receptora, em segundos.

$$A = 0,161 \frac{V}{T}$$

# Exemplo

---



Exemplo 5:

Qual é o índice de redução sonora ( $R$ ) entre duas salas separadas por uma parede de  $12 \text{ m}^2$  quando a diferença de níveis entre os ambientes é 40 dB. O volume da sala receptora é  $50 \text{ m}^3$  e seu tempo de reverberação médio é 0,5 segundos.

# Exemplo



Exemplo 5:

Qual é o índice de redução sonora ( $R$ ) entre duas salas separadas por uma parede de  $12 \text{ m}^2$  quando a diferença de níveis entre os ambientes é  $40 \text{ dB}$ . O volume da sala receptora é  $50 \text{ m}^3$  e seu tempo de reverberação médio é  $0,5$  segundos.

$$D = L_1 - L_2$$

$$D = 40 \text{ dB}$$

$$R = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{S}{A} \right)$$

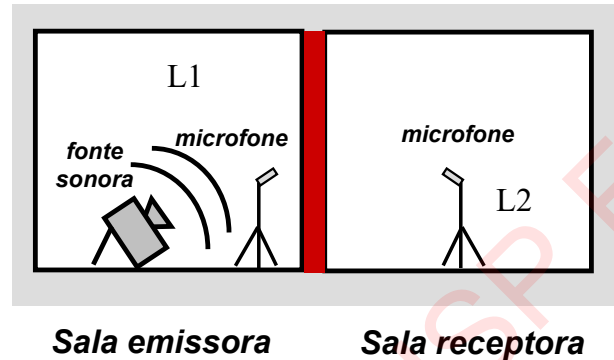
$$A = 0,161 \frac{V}{T}$$

$$R = 40 + 10 \log \left( \frac{12}{16,1} \right) = 40 + 10 \log (0,745)$$

$$A = 0,161 \frac{50}{0,5} = 16,1 \text{ m}^2 \text{ Sabin}$$

$$R = 40 - 1,28 = 38,7 \text{ dB} \approx 39 \text{ dB}$$

- **Diferença padronizada de nível entre ambientes ( $D_{nT}$ ) [dB]:**



$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

$L_1 \rightarrow$  nível de pressão sonora médio na sala emissora, em dB.

$L_2 \rightarrow$  nível de pressão sonora médio na sala receptora, em dB.

$T \rightarrow$  tempo de reverberação da sala receptora, em segundos.

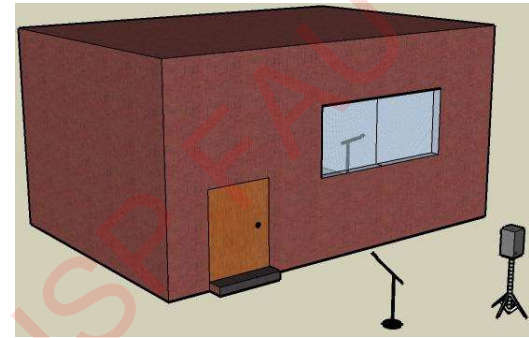
$T_0 \rightarrow$  tempo de reverberação de referência ( $T_0 = 0,5$  s).





- **E em fachadas?**

- **Diferença padronizada de nível de fachada ( $D_{2m,nT}$ ) [dB]:**



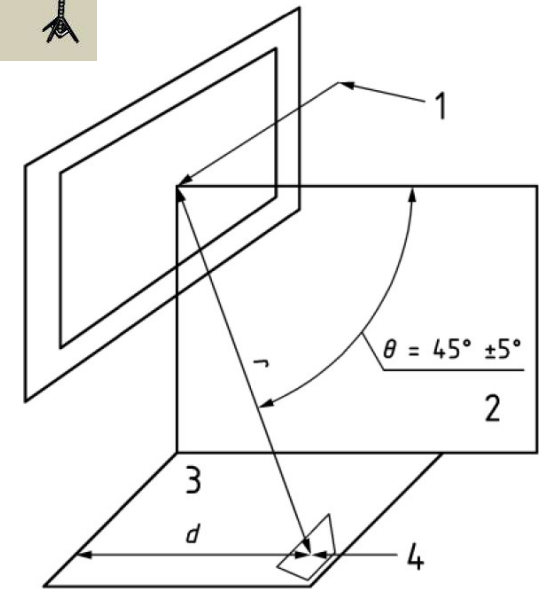
$$D_{2m,nT} = L_{1,2m} - L_2 + 10 \log \left( \frac{T}{T_0} \right)$$

$L_{1,2m}$  → nível de pressão sonora do lado de fora 2 m na frente da fachada, em dB.

$L_2$  → nível de pressão sonora médio na sala receptora, em dB.

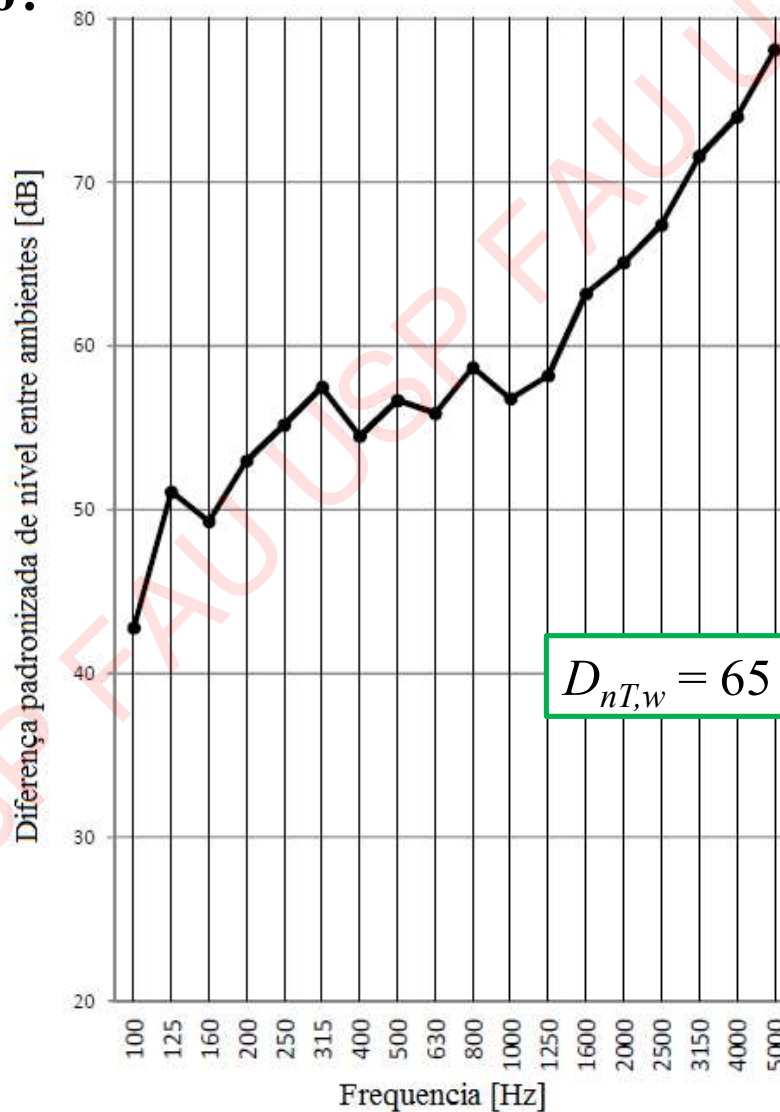
$T$  → tempo de reverberação da sala receptora, em segundos.

$T_0$  → tempo de reverberação de referência ( $T_0 = 0,5$  s).





- Como é feita a ponderação?

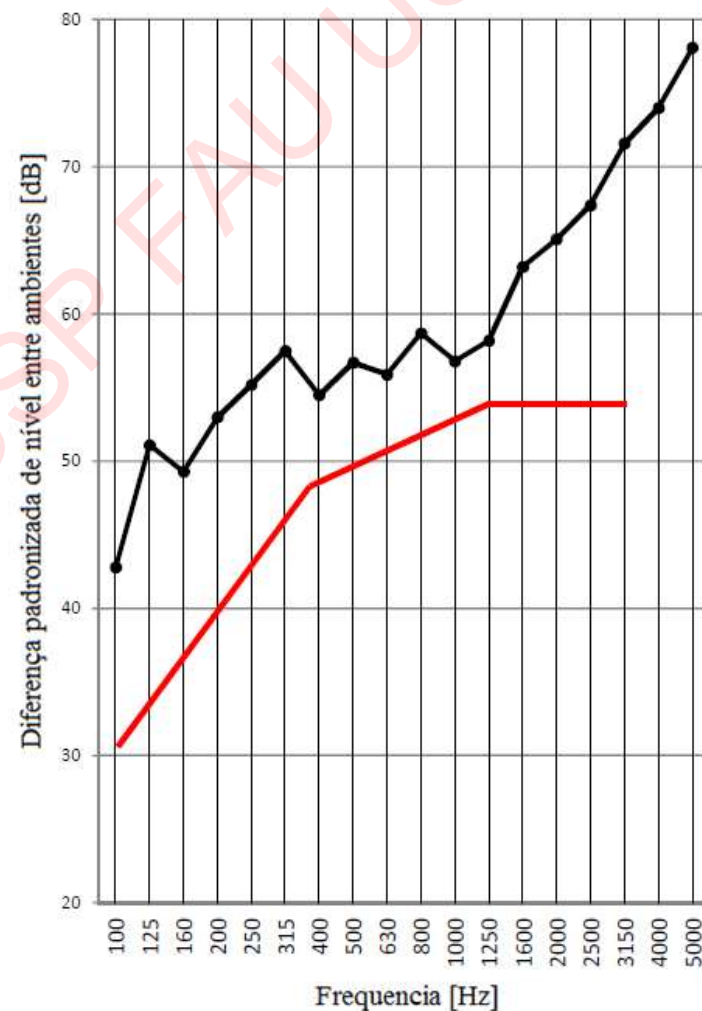


- Como é feita a ponderação?
- Diferença padronizada de nível entre ambientes ponderada [dB]:

$$D_{nT,w} = ???$$

Procedimento descrito na ISO 717-1.

Curva de referência (ISO 717-1): em vermelho



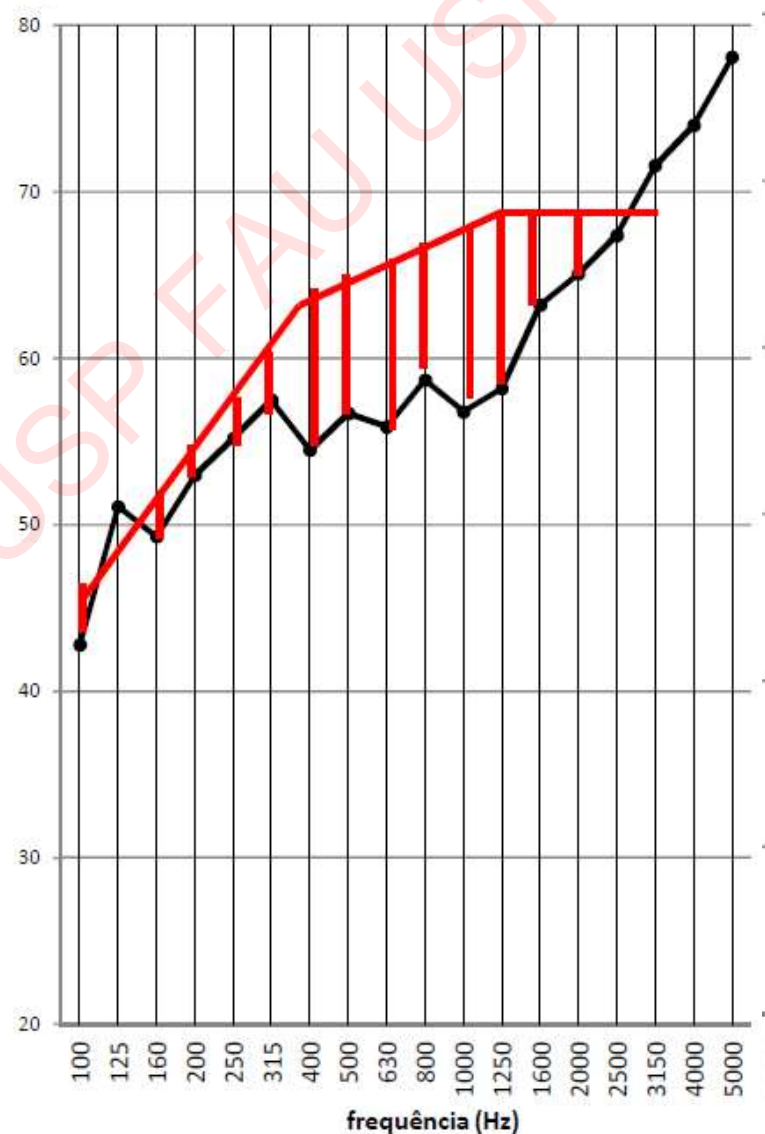
- Como é feita a ponderação?

- Diferença padronizada de nível entre ambientes ponderada [dB]:

$$D_{nT,w} = ???$$

Curva de referência (ISO 717-1):

- É deslocada na vertical em passos de 1 em 1 dB,
- Até que a soma das diferenças dos valores medidos para os valores da curva de referência seja a maior possível, mas não superior a 32 dB.
- $D_{nT,w}$  = valor lido em 500 Hz da curva de referência deslocada.

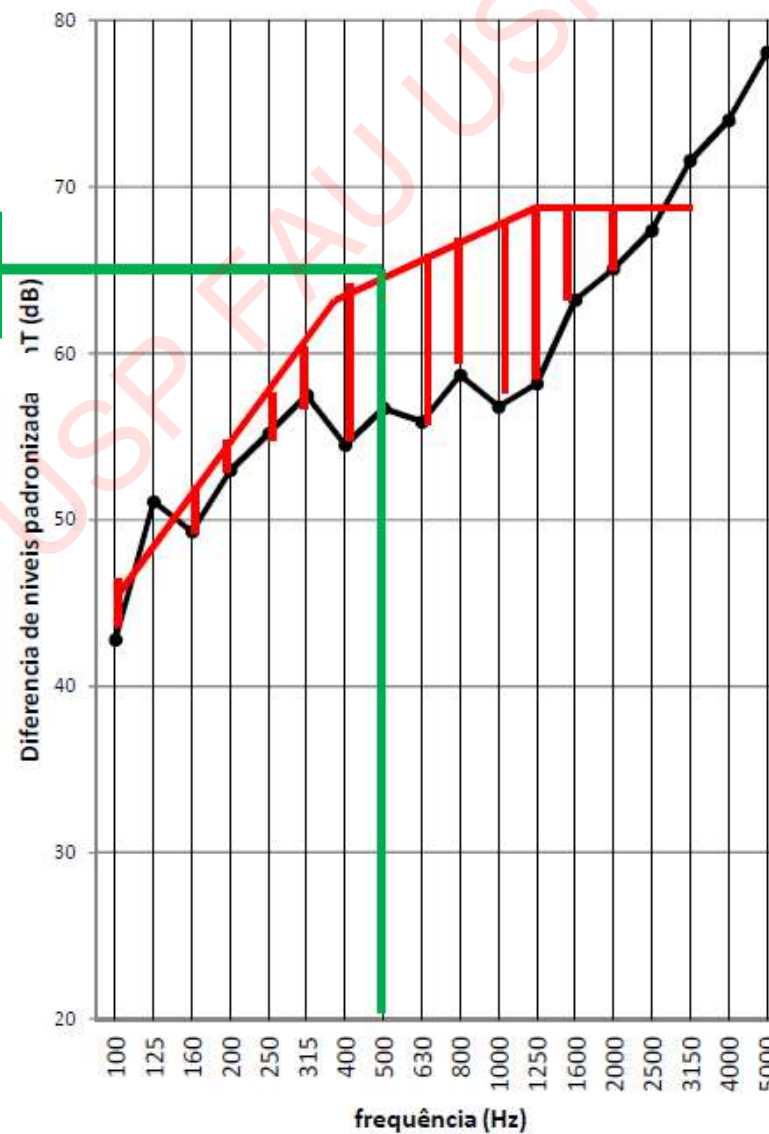


- Como é feita a ponderação?

$$D_{nT,w} = 65 \text{ dB}$$

- Diferença padronizada de nível entre ambientes ponderada

- $D_{nT,w}$  = valor lido em 500 Hz da curva de referência deslocada



- Como são apresentados os resultados das medições?

## Relatório

volumes dos ambientes

resultados em tabela

resultados em valor único

Diferencia de niveles normalizada de acuerdo con la Norma ISO 140-4  
Medidas de ruido del aislamiento al ruido aéreo entre recintos

Cliente: \_\_\_\_\_ Fecha del ensayo: \_\_\_\_\_

Descripción e identificación del elemento de construcción y disposición del ensayo, dirección de la medida: \_\_\_\_\_

Volumen del recinto emisor:  $m^3$   
Volumen del recinto receptor:  $m^3$

| Frecuencia<br>f<br>Hz | D <sub>n</sub><br>[medida de<br>(D <sub>n</sub> )<br>dB] |
|-----------------------|----------------------------------------------------------|
| 50                    |                                                          |
| 63                    |                                                          |
| 80                    |                                                          |
| 100                   |                                                          |
| 125                   |                                                          |
| 160                   |                                                          |
| 200                   |                                                          |
| 250                   |                                                          |
| 315                   |                                                          |
| 400                   |                                                          |
| 500                   |                                                          |
| 630                   |                                                          |
| 800                   |                                                          |
| 1000                  |                                                          |
| 1250                  |                                                          |
| 1600                  |                                                          |
| 2000                  |                                                          |
| 2500                  |                                                          |
| 3150                  |                                                          |
| 4000                  |                                                          |
| 5000                  |                                                          |

Rango de frecuencia según los valores de la curva de referencia (ISO 717-1)

Valores según la Norma ISO 717-1:

$D_{n,w}(f) = [ \dots ]$  dB,  $C_{n,w} =$  dB,  $C_{n,w} =$  dB,  $C_{n,w} =$  dB

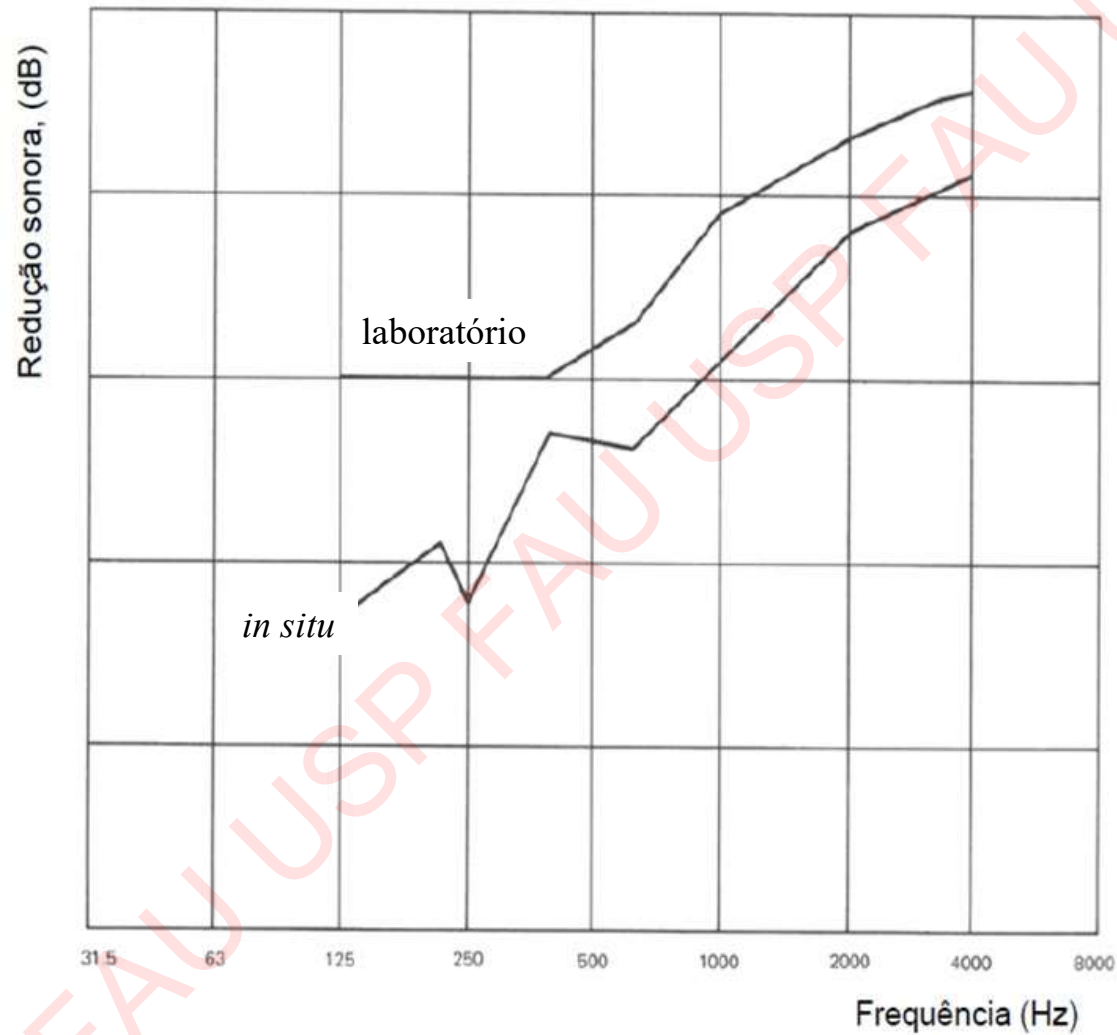
Unificación basada en resultados de medidas  
en una frecuencia mediante un método  
de segmentación:  $C_{n,w,seg} =$  dB,  $C_{n,w,seg} =$  dB,  $C_{n,w,seg} =$  dB

IT: de aislamiento: \_\_\_\_\_ Dirección del ruido de escape: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_



resultados em gráfico

# Ensaio em laboratório x Ensaio em campo



## • Medições em laboratório X Medições em campo

- Estudo de caso:
  - Salas emissora e receptora com mesmo volume.
  - Todos os elementos de concreto armado, com 15 cm de espessura.

### Situação inicial:

Laboratório:  $R_w = 54$  dB

Campo:  $D_{nT,w} = 51$  dB  
(3 dB de perdas por transmissão marginal)

### 1º Tratamento Acústico (reforço do teto):

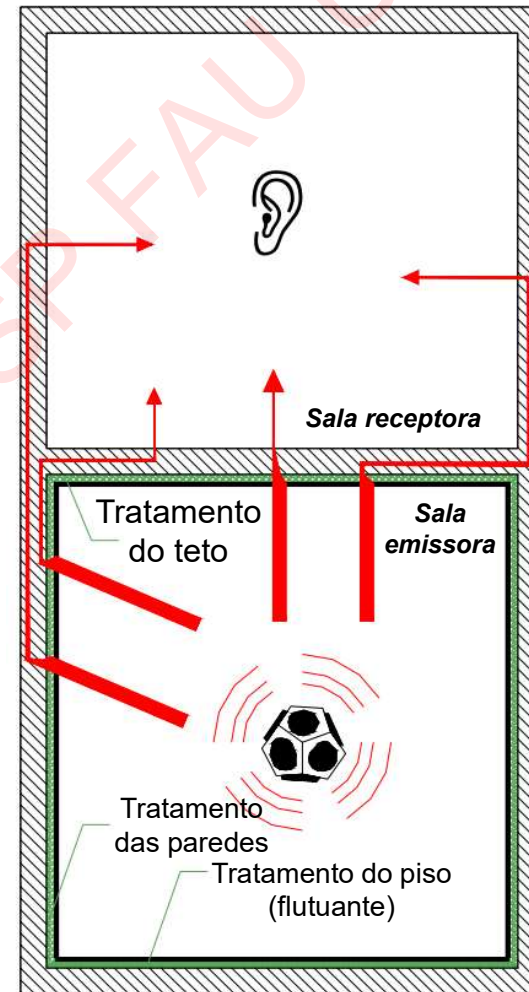
Laboratório:  $R_w = 66$  dB (acrécimo de 12 dB)

Campo:  $D_{nT,w} = 55$  dB  
(11 dB de perdas por transmissão marginal)

### 2º Tratamento Acústico (reforço de paredes):

Laboratório:  $R_w = 66$  dB (acrécimo de 12 dB)

Campo:  $D_{nT,w} = 63$  dB  
(3 dB de perdas por transmissão marginal)



Fonte: MATEUS, Diogo (2008).

Conforto Ambiental 3: TermoAcústica

# Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações



Fonte: DUARTE, Elisabeth (2005).

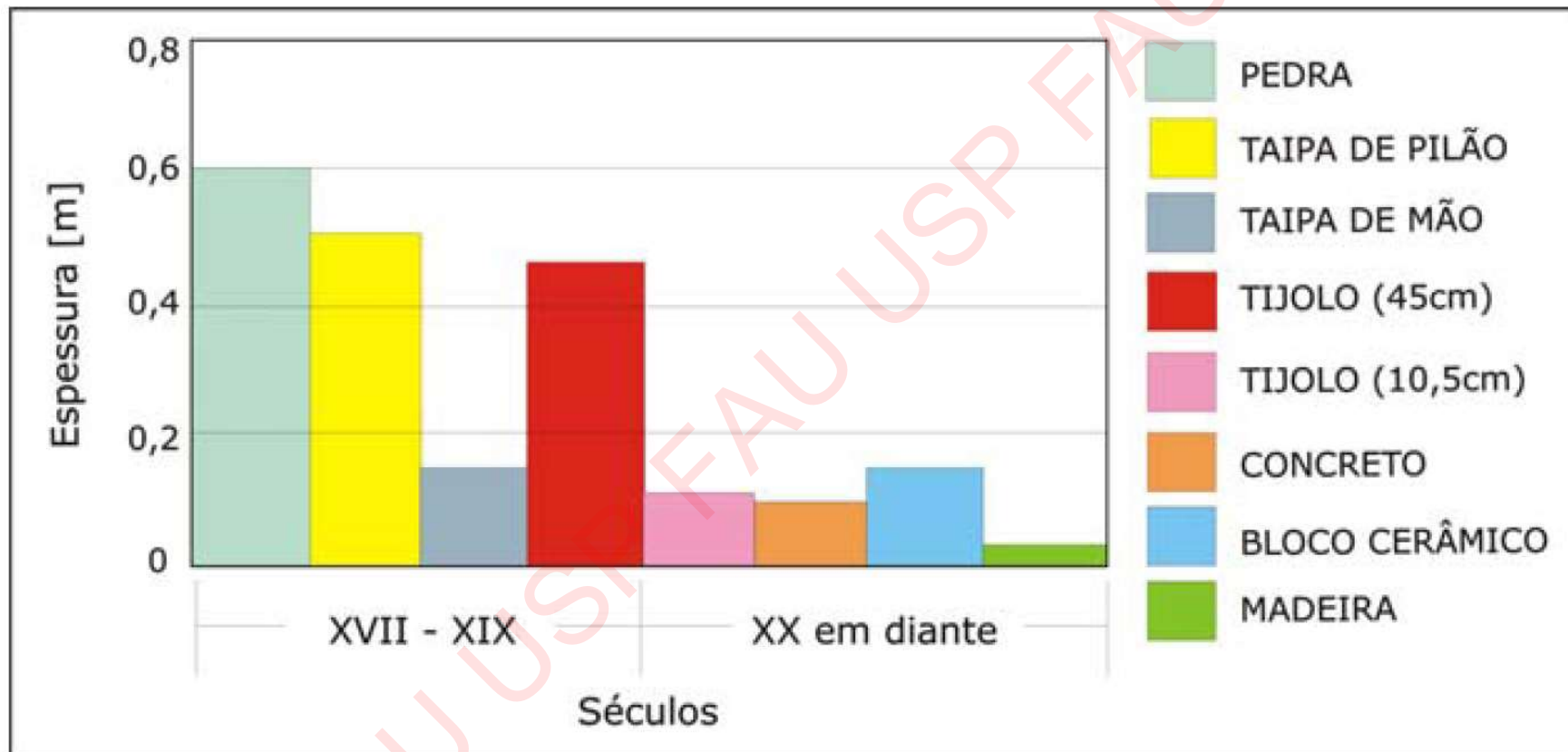
AUT0286 – Conforto Ambiental 3: TermoAcústica

# Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações



# Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações

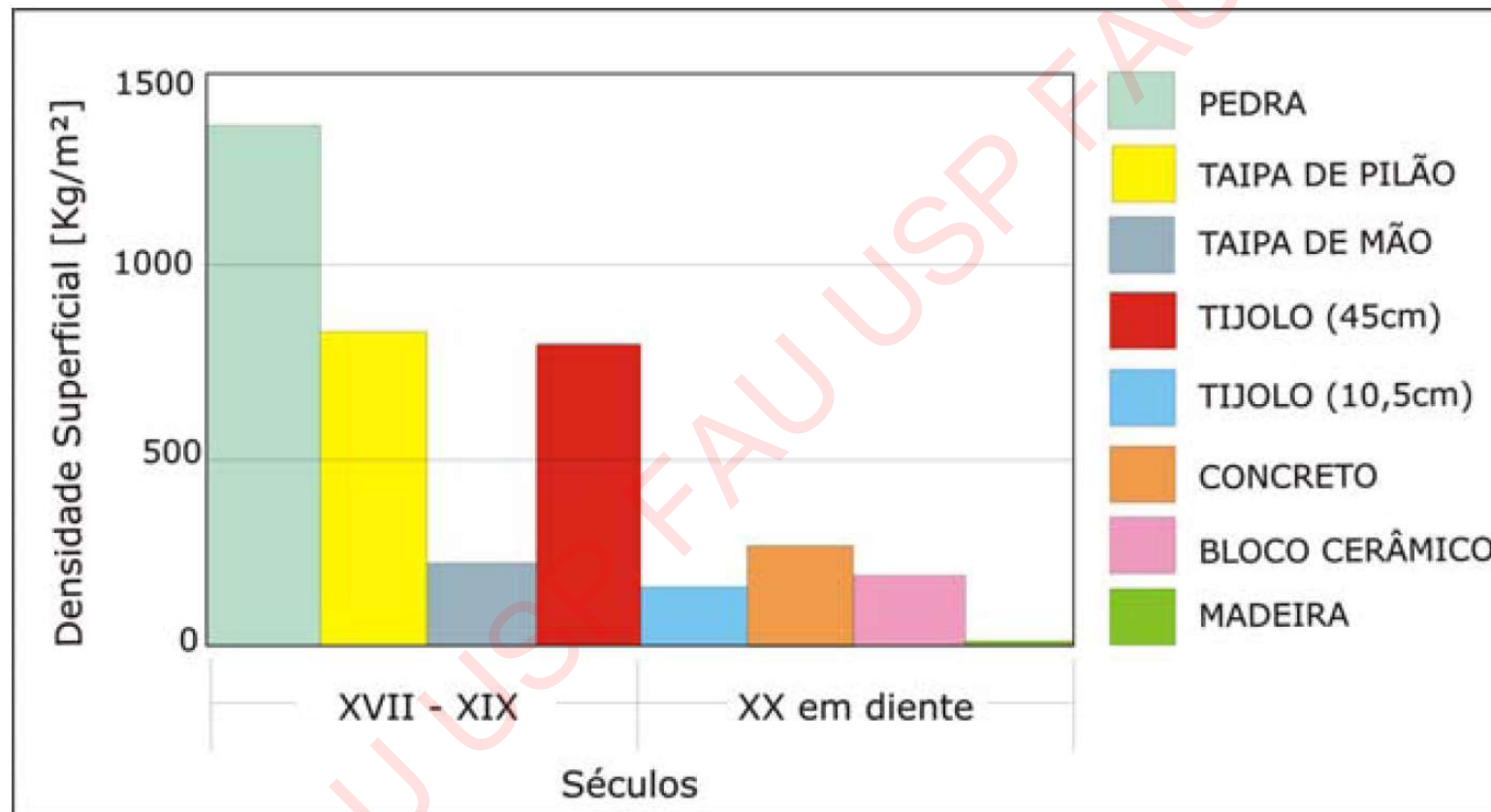
- **Espessura dos componentes**



Fonte: DUARTE, Elisabeth (2005).

# Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações

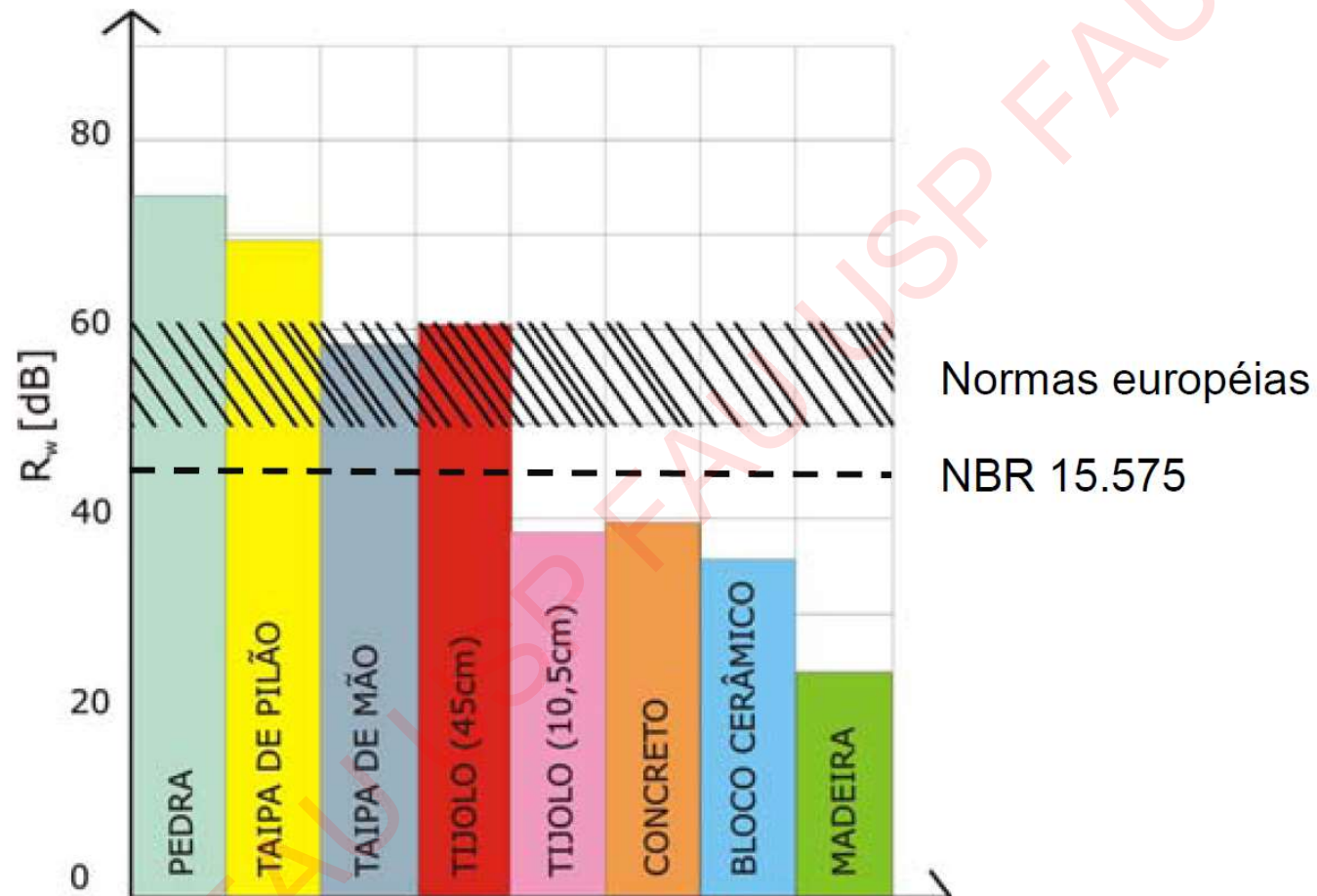
- **Densidades superficiais dos componentes**



Fonte: DUARTE, Elisabeth (2005).

# Evolução histórica do isolamento sonoro de vedações

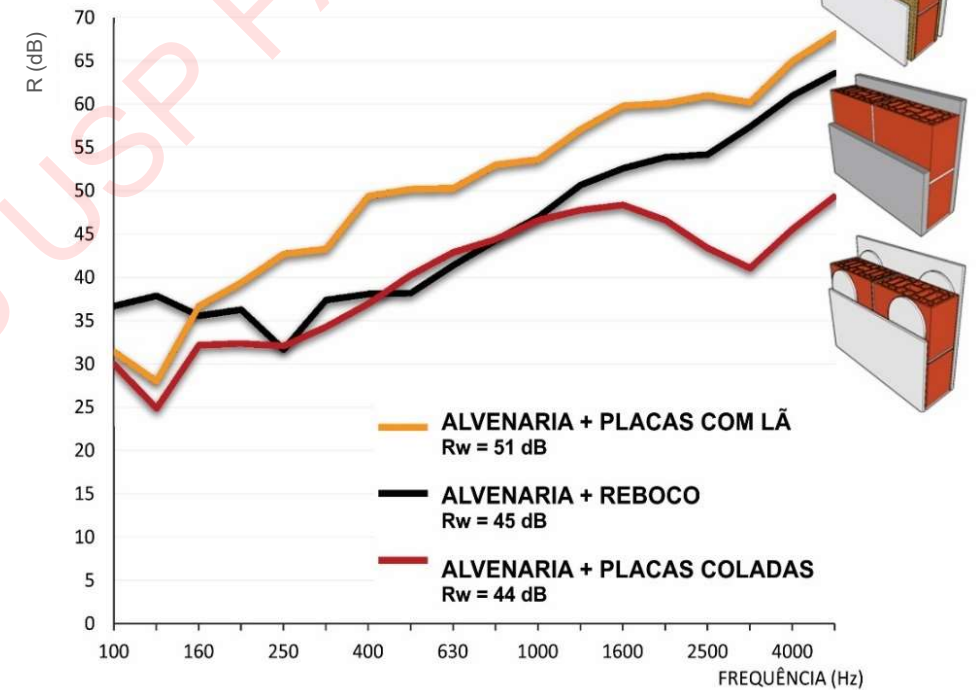
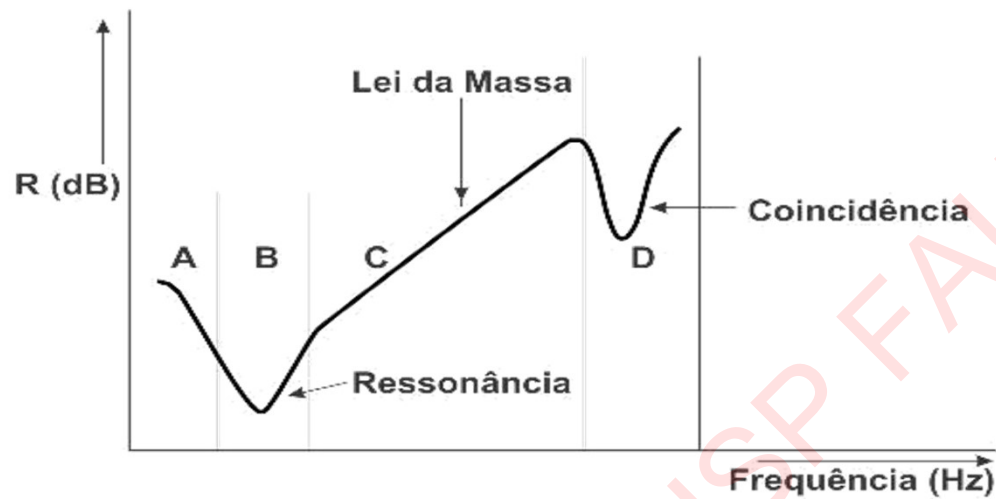
- Índice de redução sonora dos componentes



Fonte: DUARTE, Elisabeth (2005).

# Exemplos

- Isolamento ao ruído aéreo (medições em laboratório)



Fonte: OLIVEIRA, M. F.

# Exemplos

- Isolamento ao ruído aéreo (medições em laboratório)



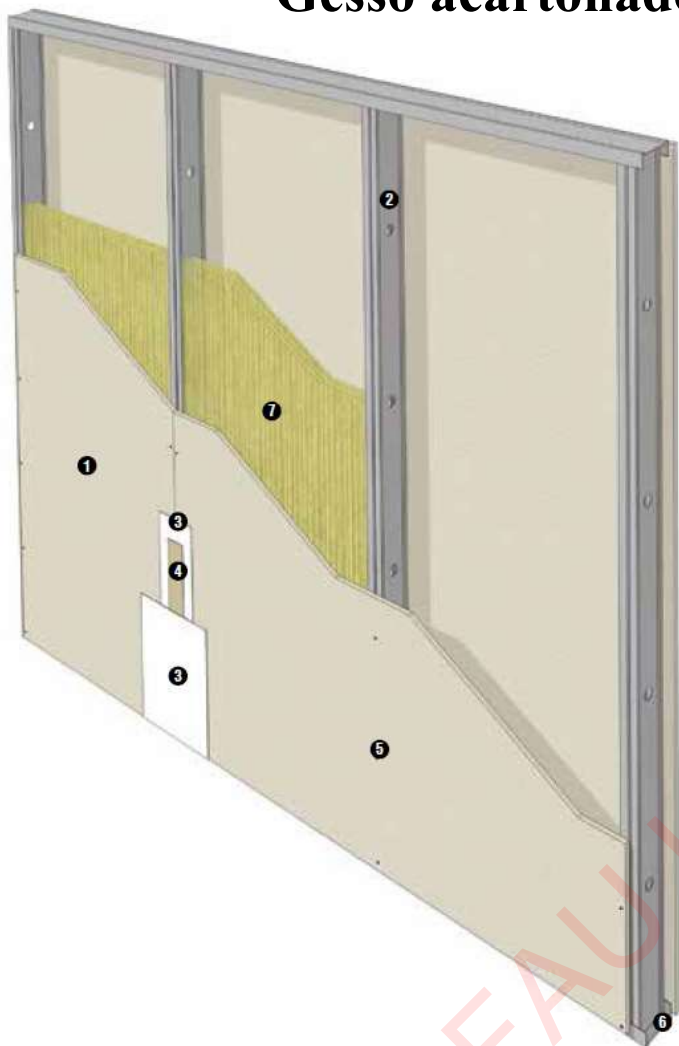
| Tipo de parede                     | Largura do bloco / tijolo | Revestimento                  | Massa aproximada      | Rw (dB) |
|------------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------|
| Blocos vazados de concreto         | 9 cm                      | argamassa 1,5 cm em cada face | 180 kg/m <sup>2</sup> | 41      |
|                                    | 11,5 cm                   |                               | 210 kg/m <sup>2</sup> | 42      |
|                                    | 14 cm                     |                               | 230 kg/m <sup>2</sup> | 45      |
| Blocos vazados de cerâmica         | 9 cm                      | argamassa 1,5 cm em cada face | 120 kg/m <sup>2</sup> | 38      |
|                                    | 11,5 cm                   |                               | 150 kg/m <sup>2</sup> | 40      |
|                                    | 14 cm                     |                               | 180 kg/m <sup>2</sup> | 42      |
| Tijolos maciços de barro cozido*   | 11 cm                     | argamassa 2 cm em cada face   | 260 kg/m <sup>2</sup> | 45      |
|                                    | 15 cm                     |                               | 320 kg/m <sup>2</sup> | 47      |
|                                    | 11 + 11 cm**              |                               | 450 kg/m <sup>2</sup> | 52      |
| Paredes maciças de concreto armado | 5 cm                      | sem revestimento              | 120 kg/m <sup>2</sup> | 38      |
|                                    | 10 cm                     |                               | 240 kg/m <sup>2</sup> | 45      |
|                                    | 12 cm                     |                               | 290 kg/m <sup>2</sup> | 47      |
| Drywall                            | 2 chapas + lâ de vidro    | sem revestimento              | 22 kg/m <sup>2</sup>  | 41      |
|                                    | 4 chapas                  |                               | 44 kg/m <sup>2</sup>  | 45      |
|                                    | 4 chapas + lâ de vidro    |                               | 46 kg/m <sup>2</sup>  | 49      |

(\*) Valores indicados pela Universidade de Coimbra.  
 (\*\*) Parede dupla 11 + 11 cm, com espaço interno de 4 cm preenchido com manta de lâ de rocha 70 kg/m<sup>3</sup>.

- E o *drywall*?



- **Exemplo:**  
**Gesso acartonado**



**Tabela de desempenho Knauf W111**

| Tipologia   | Espessura total da parede (mm) | Largura dos montantes (mm) | Distância entre montantes (mm) | Quantidade e espessura das chapas | Peso (kg/m) m² | Isolamento Acústico R <sub>w</sub> (dB) |                |
|-------------|--------------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------|-----------------------------------------|----------------|
|             |                                |                            |                                |                                   |                | Sem Lã Mineral                          | Com Lã Mineral |
| W111-73/48  | 73                             | 48                         | 600<br>400                     | 2 x 12,5 mm                       | 22             | 34 a 36                                 | 42 a 44        |
| W111-95/70  | 95                             | 70                         | 600<br>400                     | 2 x 12,5 mm                       | 22             | 38 a 40                                 | 44 a 46        |
| W111-100/70 | 100                            | 70                         | 600<br>400                     | 2 x 15,0 mm                       | 27             | 39 a 41                                 | 45 a 47        |
| W111-115/90 | 115                            | 90                         | 600<br>400                     | 2 x 12,5 mm                       | 22             | 39 a 42                                 | 45 a 47        |
| W111-120/90 | 120                            | 90                         | 600<br>400                     | 2 x 15,0 mm                       | 27             | 40 a 43                                 | 46 a 48        |

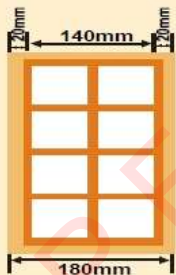
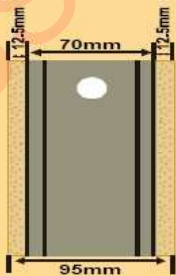
- **Parede Knauf W111**
- **Fabricante:** Knauf

- 1 Chapas drywall Knauf
- 2 Perfil montante
- 3 Massa para tratamento de juntas
- 4 Fita para tratamento de juntas
- 5 Parafuso TA-25
- 6 Perfil guia
- 7 Lã mineral

Parede interna que divide ambientes em unidades residenciais e comerciais. É constituída por uma chapa fixada de gesso acartonado de cada lado de uma estrutura formada por perfis de aço galvanizado.

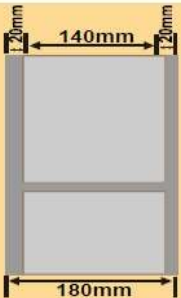
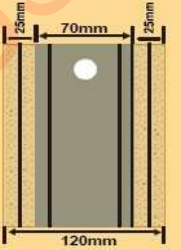


**Desempenho acústico de alvenarias e *drywall*: mesma unidade**

| Especificação                            | Corte                                                                               | Isolamento acústico | Peso kg/m <sup>2</sup> |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Bloco de concreto revestido c/ argamassa |    | 38dB                | 150                    |
| Bloco cerâmico revestido c/ argamassa    |   | 38dB                | 120                    |
| Drywall                                  |  | 38dB                | 20                     |

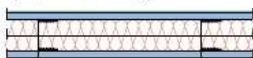
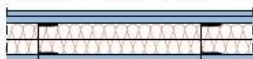
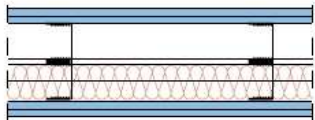
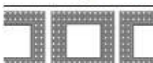


## Desempenho acústico de alvenarias e *drywall*: unidades distintas

| Especificação                            | Corte                                                                               | Isolamento acústico | Peso kg/m <sup>2</sup> |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Bloco de concreto revestido c/ argamassa |    | 43dB                | 200                    |
| Bloco cerâmico revestido c/ argamassa    |   | 38dB                | 120                    |
| Drywall com lã mineral                   |  | 50dB                | 42                     |

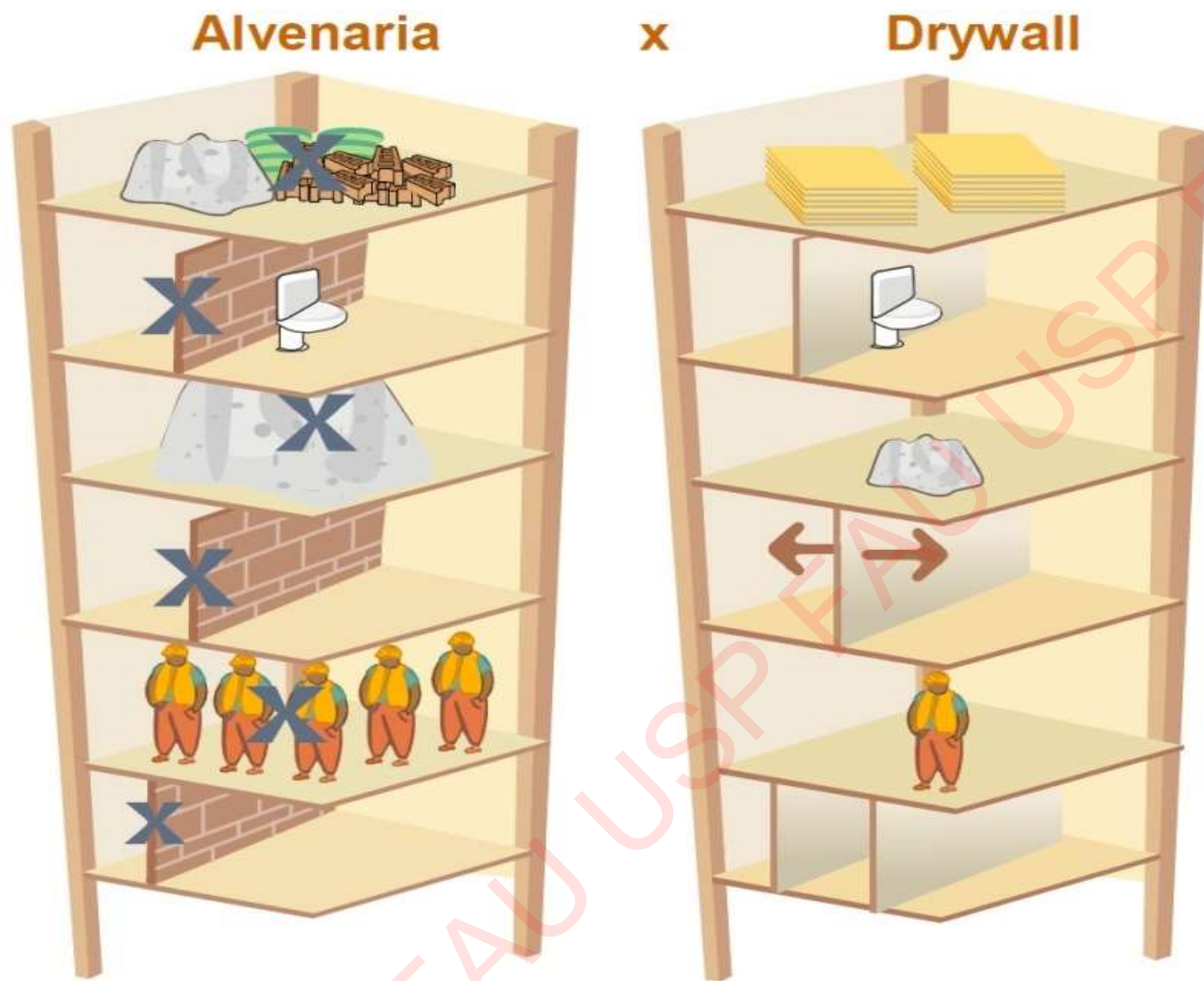


## Comparativo de desempenho entre drywall e alvenaria

| Drywall                                                                                                                             |                     |                 |             | Alvenaria convencional                                                                                                                     |                     |                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------|
| Chapas drywall Knauf                                                                                                                | Isolamento acústico |                 | Peso        | Alvenaria convencional                                                                                                                     | Isolamento acústico | Peso             |
|                                                                                                                                     | SLM                 | CLM             |             |                                                                                                                                            |                     |                  |
| W111<br>(12,5+70+12,5) = 95 mm<br>                 | 38-40<br>dB (A)     | 44-46<br>dB (A) | 23-25 kg/m² | Tijolo maciço<br>(15+60+15) = 90 mm<br>                 | 36-38<br>dB (A)     | 155-165<br>kg/m² |
| W112<br>(12,5+12,5+70+12,5+12,5) = 120 mm<br>      | 44-46<br>dB (A)     | 50-52<br>dB (A) | 41-43 kg/m² | Tijolo "baiano" - 6 furos<br>(15+90+15) = 120 mm<br>    | 35-38<br>dB (A)     | 155-165<br>kg/m² |
| W115<br>(12,5+12,5+48+48+12,5+12,5) = 146 mm<br> |                     | > 62<br>dB (A)  |             | Tijolo "baiano" - 6 furos<br>(15+160+15) = 190 mm<br>   | 38-40<br>dB (A)     | 250-260<br>kg/m² |
|                                                                                                                                     |                     |                 | 44-46 kg/m² | Bloco de silício calcário<br>(15+110+15) = 140 mm<br>  | 35<br>dB (A)        | 300<br>kg/m²     |
|                                                                                                                                     |                     |                 |             | Bloco de concreto celular<br>(15+110+15) = 140 mm<br> | 35<br>dB(A)         | 130<br>kg/m²     |
|                                                                                                                                     |                     |                 |             | Bloco de concreto<br>(15+110+15) = 140 mm<br>         | 35<br>dB (A)        | 240<br>kg/m²     |



## Alvenaria e drywall



<https://drywall.org.br/manuais/>

- **Exemplo:**  
**Placa cimentícia**



| Nomenclatura*                            | Corte | Especificação                                                                                               | Isolamento Acústico $R_w$ ** | Resistência ao fogo (minutos) *** |
|------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Parede<br>110/90/400/10-10               |       | Placa cimentícia<br>10 mm<br>Estrutura<br>90 mm<br>Placa cimentícia<br>10 mm                                | 45 dB                        | CF 30                             |
| Parede<br>130/90/400/2x10-<br>2x10/LM 50 |       | Placa cimentícia<br>2 x 10 mm<br>Estrutura<br>90 mm<br>Lã mineral<br>50 mm<br>Placa cimentícia<br>2 x 10 mm | 57 dB                        | CF 120                            |



- **E os vidros?**

Quais os tipos de vidros mais aplicados na construção civil?

- vidros *float* (comum), impresso, temperado, laminado, aramado, insulado e vidros de controle solar.

- Para o vidro proporcionar melhor desempenho acústico, ele deve ser muito bem especificado e instalado.

- **E os vidros?**

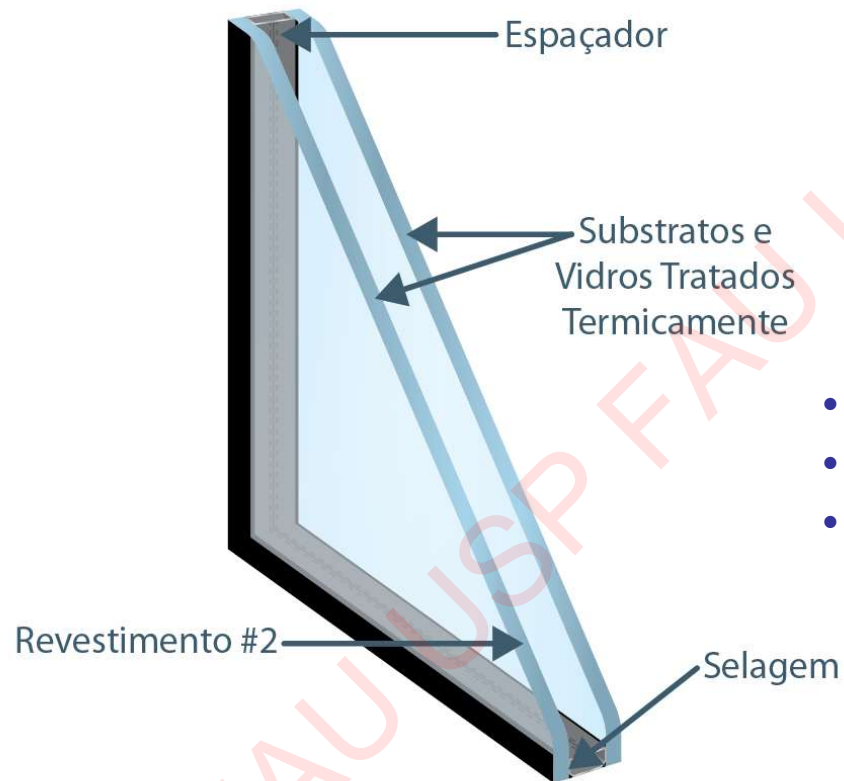
- Índice de redução sonora de vidros simples, em dB:

| <b>Espessura</b> | <b>125 Hz</b> | <b>250 Hz</b> | <b>500 Hz</b> | <b>1 kHz</b> | <b>2 kHz</b> | <b>4 kHz</b> | <b>Rw (C;Ctr)</b> |
|------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| 3 mm             | 14            | 19            | 25            | 29           | 33           | 25           | 28 (-1;-4)        |
| 4 mm             | 17            | 20            | 26            | 32           | 33           | 26           | 29 (-2;-3)        |
| 5 mm             | 19            | 22            | 29            | 33           | 29           | 31           | 30 (-1;-2)        |
| 6 mm             | 18            | 23            | 30            | 35           | 27           | 32           | 31 (-2;-3)        |
| 8 mm             | 20            | 24            | 29            | 34           | 29           | 37           | 32 (-2;-3)        |
| 10 mm            | 23            | 26            | 32            | 31           | 32           | 39           | 33 (-2;-3)        |
| 12 mm            | 27            | 29            | 31            | 32           | 38           | 47           | 34 (0;-2)         |

FONTE: ISO 12354-3.

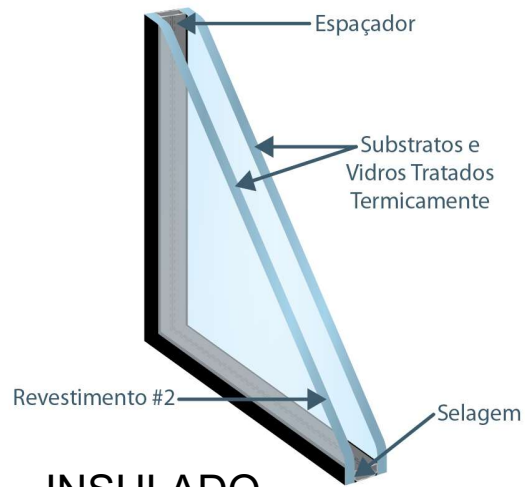
- Vidros:

- O vidro insulado, também chamado de duplo, tem função termoacústica, proporcionando atenuação acústica e controle térmico do ambiente.

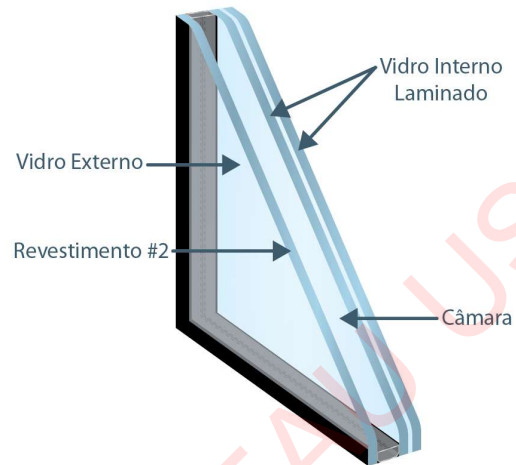


- Vidro duplo – Atenuação 34 dB
- Vidro triplo – Atenuação 37 dB
- Vidro quádruplo – Atenuação 42 dB

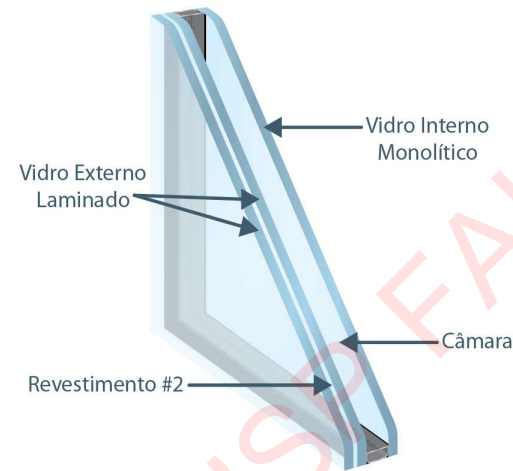
- Vidros insulados:



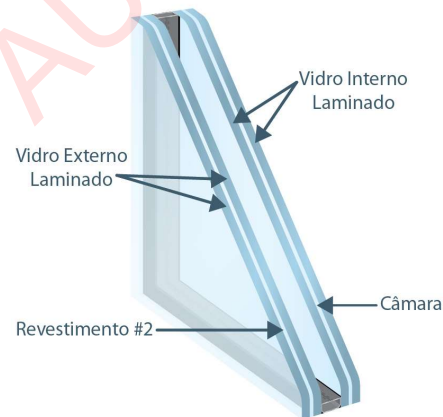
INSULADO



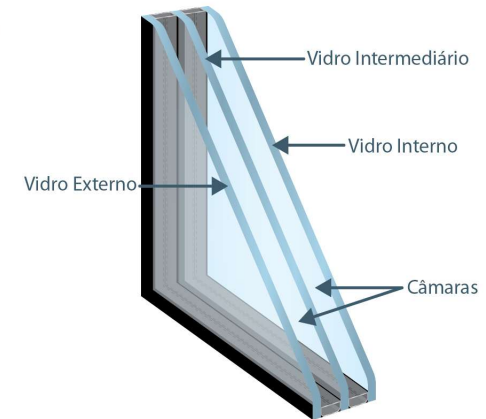
INSULADO LAMINADO



LAMINADO INSULADO



DUPLO INSULADO LAMINADO



TRIPLO INSULADO

Fonte: <https://www.glassecviracon.com.br/>



- **E as janelas?**



- Conjunto:



Madeira



Alumínio

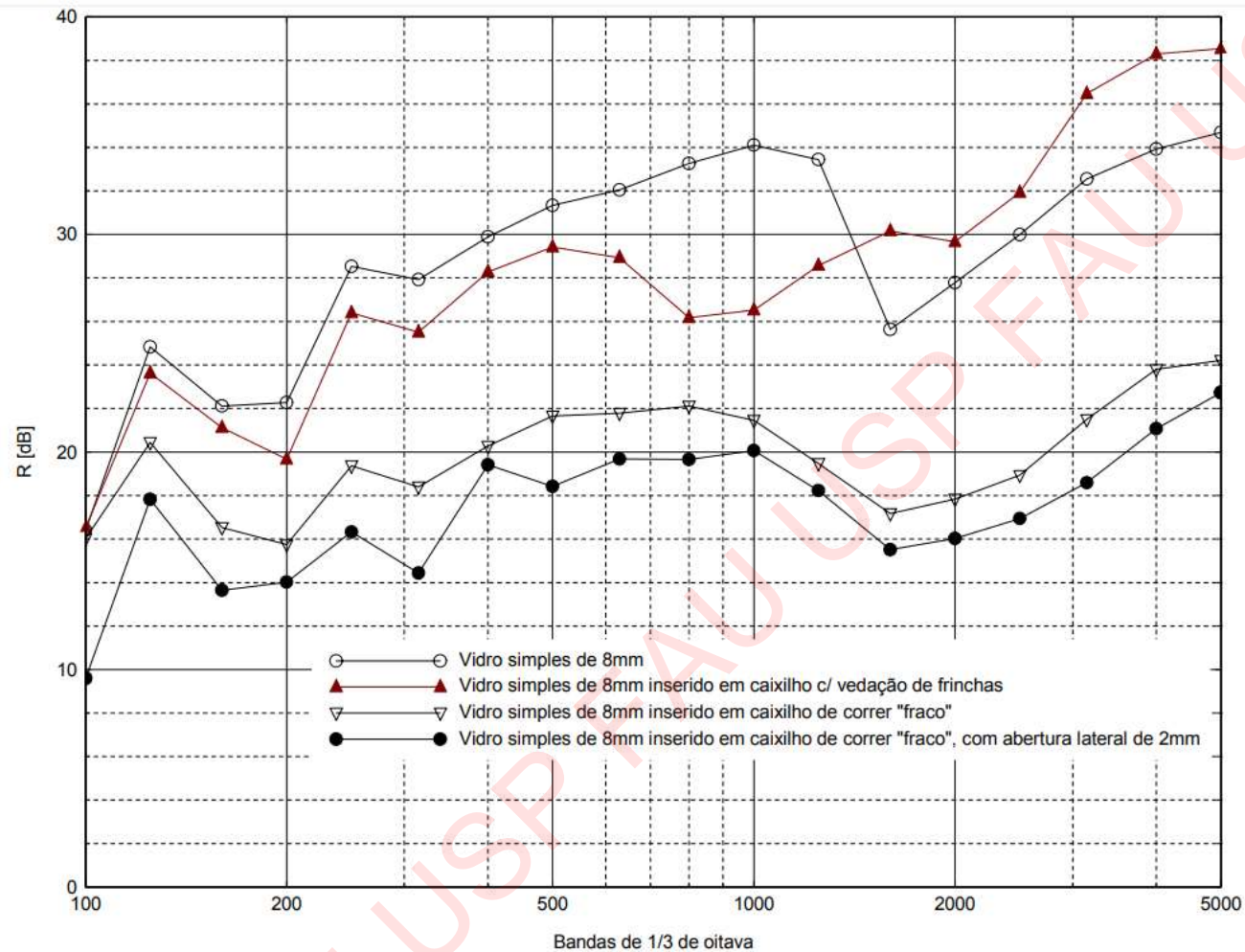


Ferro



PVC

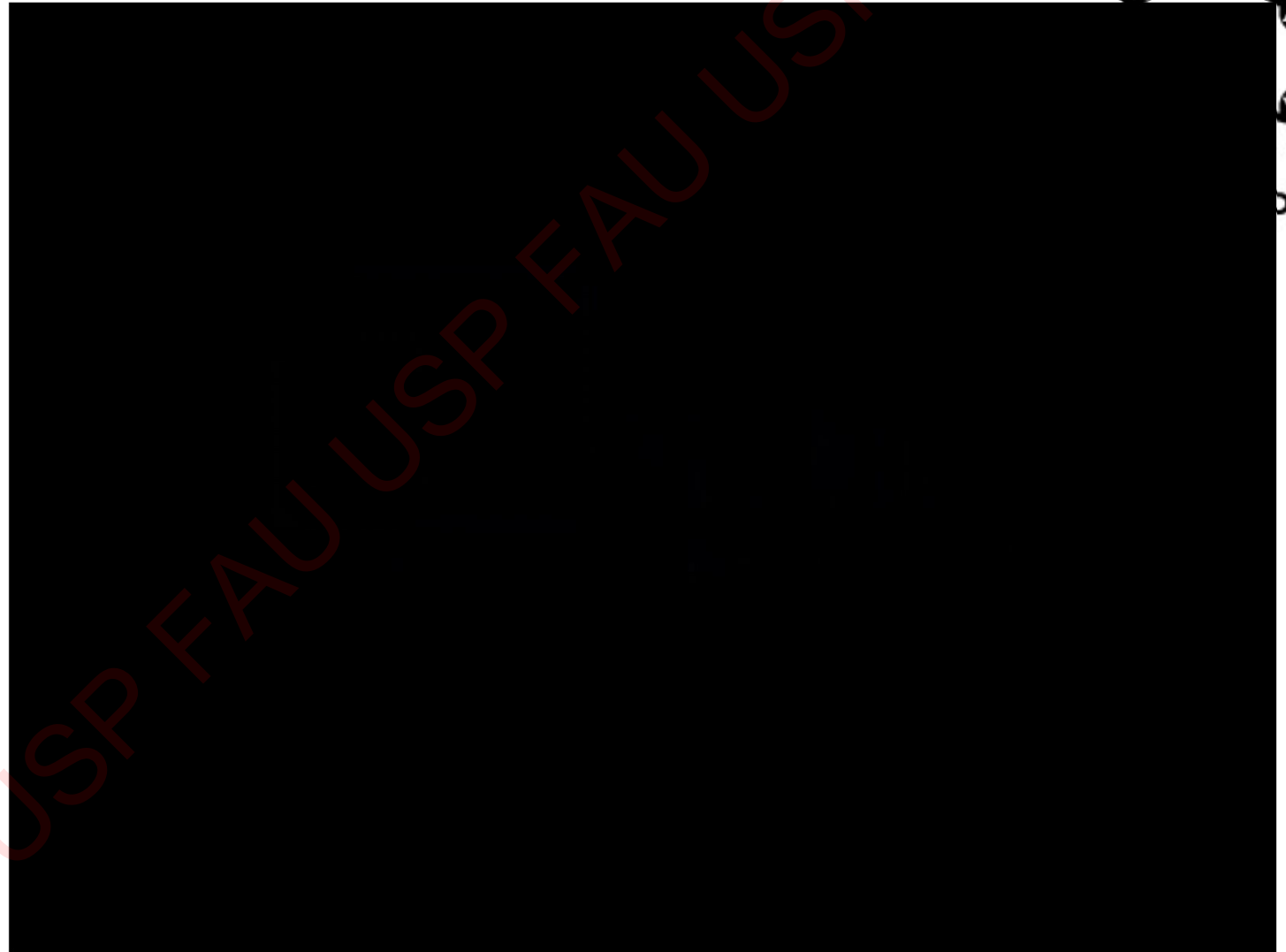




Fonte: MATEUS, Diogo (2008).

**Isolamento sonoro (índice de redução sonora  $R$ ) de vãos envidraçados com vidro simples de 8 mm, sem caixilho e inserido em dois tipos de caixilhos de duas folhas.**

- Janelas de sobreposição:





**Universidade do Som**

Fonte: Universidade do Som

atal 3: TermoAcústica



**Os projetos e especificações de esquadrias** devem sempre privilegiar soluções que minimizem o consumo de energia, a utilização de iluminação artificial e maximizem a ventilação natural.

O isolamento das fachadas possui uma dependência muito grande da qualidade acústica das janelas, que, muitas vezes, pode requerer esquadrias fixas, ocasionando a necessidade de ventilação mecânica.

# Portas



# Portas

- As frestas provocadas pela falta de qualidade do elemento construtivo ou sua instalação, diminuem substancialmente o isolamento sonoro de um fechamento.

## Lei da fresta

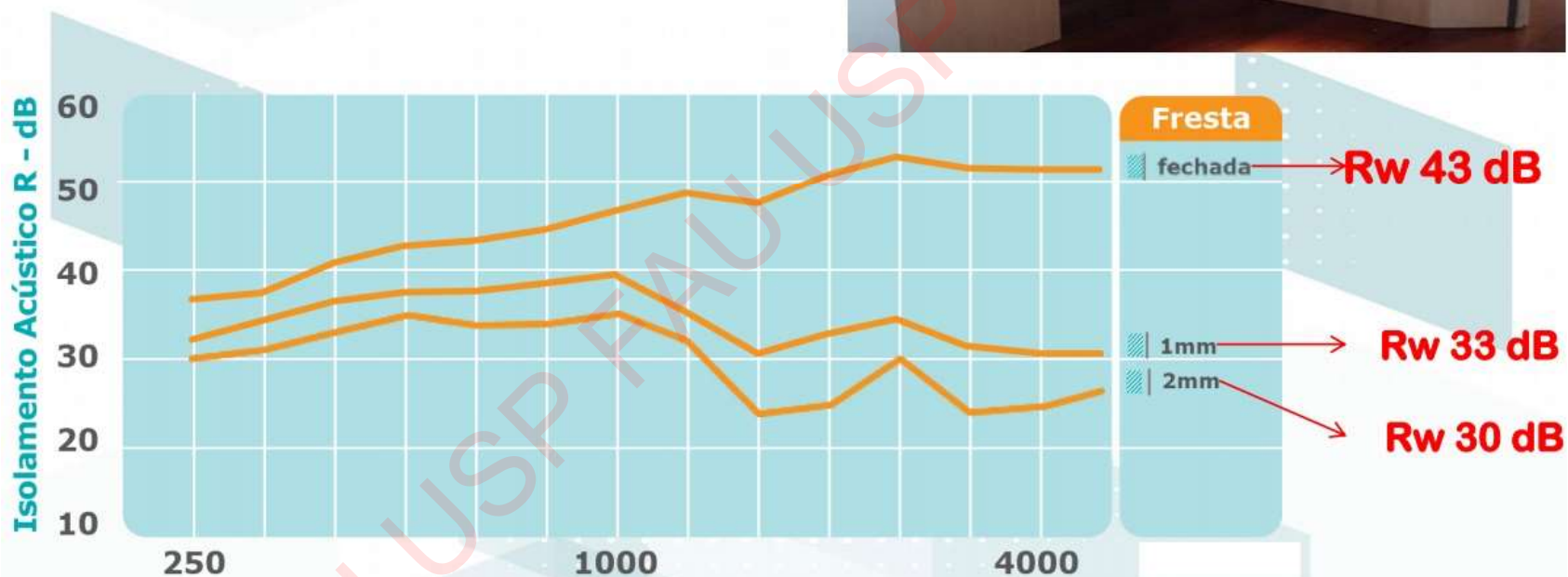
| Relação entre a largura da fresta e o isolamento da porta |     |    |    |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------|-----|----|----|----|----|----|----|
| Largura da Fresta (mm)                                    | 0,5 | 1  | 5  | 10 | 20 | 30 | 40 |
| R <sub>w</sub> máximo (dB)                                | 36  | 33 | 26 | 23 | 20 | 18 | 17 |

FONTE: Santos, Jorge Luiz dos Santos. Isolamento Sonoro de Partições Arquitetônicas.. Editora: UF5M. 2012.paginas 176.



# Fresta

**Porta + de  
100Kg  
Rw 43 dB**



**Universidade do Som**

Fonte: Universidade do Som



## Síntese



Para a qualificação do desempenho acústico de esquadrias:

- Garantir a estanqueidade ao ar
- Buscar o equilíbrio entre caixilho e vidro
- Garantir a rigidez do caixilho
- Prover o amortecimento e vedação entre materiais diferentes da esquadria

FAU USP FAU USP FAU USP FAU USP

